

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Физико-технический
Направление подготовки 14.04.02 Ядерная физика и технологии
Кафедра Физико-энергетических установок

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Нейтронно-физические характеристики торийсодержащих ТВС-2М
УДК 621.039.543.001.24

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0АМ5В	Мотрий Иннокентий Александрович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ФЭУ	Наймушин А.Г.	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.	к.экон.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ФЭУ	Долматов О.Ю.	к.ф.-м.н., доцент		

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P1	Применять глубокие, математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для теоретических и экспериментальных исследований в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов в профессиональной деятельности.
P2	Ставить и решать инновационные инженерно-физические задачи, реализовывать проекты в области использования ядерной энергии, ядерных материалов, систем учета, контроля и физической защиты ядерных материалов, технологий радиационной безопасности, медицинской физики и ядерной медицины, изотопных технологий и материалов.
P3	Создавать теоретические, физические и математические модели, описывающие конденсированное состояние вещества, распространение и взаимодействие ионизирующих излучений с веществом и живой материей, физику кинетических явлений, процессы в реакторах, ускорителях, процессы и механизмы переноса радиоактивности в окружающей среде.
P4	Разрабатывать новые алгоритмы и методы: расчета современных физических установок и устройств; исследования изотопных технологий и материалов; измерения характеристик полей ионизирующих излучений; оценки количественных характеристик ядерных материалов; измерения радиоактивности объектов окружающей среды; исследований в радиоэкологии, медицинской физике и ядерной медицине.
P5	Оценивать перспективы развития ядерной отрасли, медицины, анализировать радиационные риски и сценарии потенциально возможных аварий, разрабатывать меры по снижению рисков и обеспечению ядерной и радиационной безопасности руководствуясь законами и нормативными документами, составлять экспертное заключение.
P6	Проектировать и организовывать инновационный бизнес, разрабатывать и внедрять новые виды продукции и технологий, формировать эффективную стратегию и активную политику риск-менеджмента на предприятии, применять методы оценки качества и результативности труда персонала, применять знание основных положений патентного законодательства и авторского права Российской Федерации.
<i>Общекультурные компетенции</i>	
P7	Демонстрировать глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов инновационной профессиональной деятельности.
P8	Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.
P9	Активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать результаты профессиональной деятельности.
P10	Эффективно работать индивидуально и в коллективе, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность следовать корпоративной культуре организации.

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт: Физико-технический

Направление подготовки: (специальность): 14.04.02 Ядерная физика и технологии

Кафедра: Физико-энергетических установок

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. Кафедрой ФЭУ

(Подпись) (Дата) Долматов О.Ю.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
0AM5B	Мотрий Иннокентий Александрович

Тема работы:

Нейтронно-физические характеристики торийсодержащих ТВС-2М
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	<ul style="list-style-type: none">– Реактор ВВЭР-1000– ТВС-2М– 5, 10 и 19,9% содержание делящихся нуклидов в топливе
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	введение: цель работы, область применения и значимость данной работы; основная часть: обзор сырьевой базы тория, описание возможных керамических топливных композиций, описание расчетной модели, проведение расчетов, анализ полученных результатов, расчёт себестоимости проведения исследовательской работы, разработка производственной безопасности при проведении экспериментов (в соответствии со стандартами и инструкциями по технике безопасности).
Перечень графического материала	<ul style="list-style-type: none">– презентация;– чертёж ТВС-2М

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Верховская М.В.
Социальная ответственность	Гоголева Т.С.
Иностранный язык	Кабрышева О.П.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Perspectives on the Use of Thorium in the Nuclear Fuel Cycle/Перспективы использования тория в ядерном топливном цикле	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ФЭУ	Наймушин А.Г.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5B	Мотрий Иннокентий Александрович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0AM5B	Мотрий Иннокентий Александрович

Институт	Физико-технический	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии/ Ядерные реакторы и энергетические установки

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статистических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	Оценочная карта конкурентных технических решений
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	Иерархическая структура работ SWOT-анализ Календарный план-график реализации проекта
3. <i>Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования</i>	Определение ресурсоэффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

<ol style="list-style-type: none"> 1. <i>Оценочная карта конкурентных технических решений</i> 2. <i>Матрица SWOT</i> 3. <i>Иерархическая структура работ</i> 4. <i>Календарный план проекта</i> 5. <i>Бюджет проекта</i> 6. <i>Определение ресурсоэффективности проекта</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент каф. МЕН ИСГТ	Верховская М.В.	к.экон.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5B	Мотрий Иннокентий Александрович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0AM5B	Мотрий Иннокентий Александрович

Институт	Физико-технический	Кафедра	ФЭУ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	14.04.02 Ядерные физика и технологии/ Ядерные реакторы и энергетические установки

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – вредных факторов производственной среды (метеоусловия, освещение, шумы, электромагнитные поля, ионизирующее излучение); – опасных факторов производственной среды (электрической, пожарной и взрывной природы).
2. <i>Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i>	электробезопасность, пожаробезопасность, требования при работе на ПЭВМ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – воздействие на организм человека; – приведение допустимых норм; – предлагаемые средства защиты.
2. <i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой произведённой среды в следующей последовательности:</i>	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент каф. ПФ ФТИ	Гоголева Т.С.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0AM5B	Мотрий Иннокентий Александрович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа включает в себя: 106 страниц, 34 рисунка, 16 таблиц, 2 приложения.

Ключевые слова: ТВС-2М, уран-ториевый топливный цикл, плутоний-ториевый топливный цикл.

Цель работы – определить нуклидный состав топливной загрузки и диаметр твэл, которые обеспечат максимальную глубину выгорания и длину кампании ядерного реактора с ТВС-2М.

В процессе исследования проводился расчет и сравнение длительности кампании и глубины выгорания различных топливных композиций и оптимизация внешнего диаметра твэл в программе MSU.

В результате исследования определено, что торийсодержащие топливные композиции показывают большую длительность кампании и глубину выгорания по сравнению с чисто урановыми топливными композициями.

Степень внедрения: высокая.

Область применения: ядерная энергетика.

Экономическая эффективность/значимость работы: высокая.

Обозначения и сокращения

ВВЭР – водо-водяной энергетический реактор;

ТВС – тепловыделяющая сборка;

ЯЭУ – ядерная энергетическая установка;

АЭС – атомная электростанция;

РЗЭ – редкоземельные элементы;

PWR – Pressurized water reactor, Реактор с водой под давлением.

Оглавление

Введение.....	11
1 Теоретическая часть.....	13
1.1 Торий в природе	13
1.2 Краткая характеристика сырьевой базы тория в России	14
1.3 Торий для ядерных энергетических установок.....	15
1.4 Плутоний и торий для ядерных энергетических установок	16
1.5 Керамические соединения.....	17
1.5.1 Оксиды	17
1.5.2 Карбиды.....	18
1.5.3 Нитриды	18
1.6 Программное обеспечение расчетов	19
2 Подготовка и проведение расчетов	21
2.1 Описание расчетной модели	22
2.2 Оксидные топливные композиции	24
2.3 Нитридные топливные композиции.....	31
2.4 Карбидные топливные композиции	38
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	45
3.1 Потенциальные потребители результатов исследования	45
3.1.2 SWOT-анализ.....	46
3.2 Планирование управления научно-техническим проектом.....	49
3.2.1 Иерархическая структура работ проекта	49
3.2.2 Контрольные события проекта	50
3.2.3 План проекта.....	50
3.3 Бюджет научного исследования	53
3.3.1 Расчёт материальных затрат	54
3.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы	56
3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды	58
3.3.5 Накладные расходы	58

3.3.6 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта	59
3.4 Организационная структура проекта	59
3.5 Матрица ответственности	60
3.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	62
Заключение	66
Список публикаций	68

Введение

Разведанные запасы тория в земной коре в несколько раз превышают запасы урана, что, потенциально, существенно увеличивает сырьевую базу ядерной энергетики в случае использования замкнутого ядерного топливного цикла.

Торий-232 является лучшим «сырьевым» изотопом по сравнению с ураном-238 для реакторов с тепловым спектром нейтронов. Уран-233 испускает более двух нейтронов в расчёте на один захват первичного нейтрона для широкого набора реакторов с тепловым спектром нейтронов.

Диоксид тория имеет большую химическую и радиационную стойкость в сравнении с диоксидом урана, а также лучшие теплофизические свойства (теплопроводность, коэффициент линейного расширения).

Цель работы: определить нуклидный состав топливной загрузки и диаметр твэл, которые обеспечат максимальную глубину выгорания и длину кампании ядерного реактора с ТВС-2М.

Для достижения поставленной цели требуется решить следующие задачи:

- выбор материалов топливных композиций;
- выбор критериев сравнения топливных композиций;
- создание расчетной модели ТВС-2М;
- обработка расчетных результатов и выбор оптимального варианта топливной композиции.

топливной композиции.

Научная новизна исследования обуславливается возможностью использования результатов настоящей работы применимо к атомным теплоэлектростанциям малой мощности, которые предназначены для снабжения труднодоступных районов страны тепловой и электрической энергией. Для размещённых в отдалённых районах атомных энергоисточников одним из важных для экономичности показателей является время работы до

перегрузки топлива, и в данной работе рассматриваются топливные композиции, которые способны обеспечить увеличение данной характеристики.

Актуальность темы исследования заключается в том, что применение новых видов топлива позволит решить часть актуальных проблем ядерной энергетики, таких как нахождение возможностей утилизации накопленного плутония, снижение накопления плутония, трансурановых элементов и актиноидов при работе реактора, вызывающих затруднения при решении вопросов захоронения радиоактивных отходов, сокращения расхода природного урана, а в будущем, возможно, приведет к замыканию ЯТЦ. В результате реализации уран-ториевого топливного цикла существенно улучшаются технико-экономические показатели, повышается безопасность АЭС с реакторами на тепловых и быстрых нейтронах [1].

1 Теоретическая часть

1.1 Торий в природе

По распространенности в природе торий занимает примерно 35-е место среди других элементов Периодической системы Д.И. Менделеева. Содержание его в земной коре в пять раз больше, чем урана и составляет около $1,2 \cdot 10^{-3} \%$ [2]. Подобно урану торий концентрируется преимущественно в верхних гранитных частях литосферы. Кислые изверженные породы содержат в среднем $1,8 \cdot 10^{-3} \%$ Th, хотя некоторые из них лишь 0,02–0,03 %. Среднее содержание тория в основных породах – $0,3 \cdot 10^{-3}$, т.е. в 6 раз меньше, чем в кислых.

Важнейшими промышленными минералами тория в настоящее время являются монацит, торит и торианит (уранторианит).

Монацит $(Ce, La, Nd, \dots, Th, \dots)PO_4$ содержит чаще всего от 3,5 до 10% ThO_2 и от сотых долей до 1% UO_2 . Обычно в монаците присутствует 0,1–0,4% U. Наиболее богатый торием монацит с 28,2% ThO_2 был найден на Цейлоне.

Торит $ThSiO_4$ содержит около 77% (обычно меньше) ThO_2 , уран, железо и PЗЭ.

Торианит $(Th,U)O_2$ содержит от 45 до 93% ThO_2 и до 50% UO_2 .

Кроме промышленных минералов тория монацита, торита и торианита в настоящее время приобретают значение и другие минералы, из которых торий может извлекаться как побочный продукт. К ним относятся бранненит, урнинит и его разновидности, пирохлор и его разновидности, лопарит, цитолит, содержащий торий и уран, иттриалит, ксенотим, бастнезит, фергюсонит и другие минералы – всего более 20 [3,4].

1.2 Краткая характеристика сырьевой базы тория в России

В России не существует складских запасов и отлаженного производства энергетического тория [5], нет и сырьевых запасов тория, утвержденных Государственной комиссией по запасам [6]. Это вызвано тем, что в течение более 50 лет не проводились специальные поисково-разведочные работы на торий. Торий учитывался как полезный компонент в комплексных месторождениях, однако его запасы не утверждались. Тем не менее анализ прогнозной сырьевой базы тория в России показывает, что она может быть устойчивым источником сырья для получения энергетического тория.

Прогнозные ресурсы тория в России оцениваются в 1,7 млн т. Преобладающая часть ресурсов (86,7%) заключена в эндогенных комплексных месторождениях, обычно многометалльных, нередко крупных и уникальных по масштабам [5].

Из всех известных россыпных месторождений России можно считать подготовленными для разработки отдельные богатые и доступные в горно-геологическом отношении участки Лукояновского, Центрального, Такского и Туганского месторождений.

Первоочередным источником тория для использования его в ядерной энергетике может быть монацитовый Госрезерв, находящийся в г. Красноуфимске Свердловской обл. [6]. Импортированный из КНДР в 1954–1966 гг. концентрат содержит 91–93% монацита. Извлекаемое количество тория из концентрата порядка 4000 т. Из других источников поступления тория можно назвать остатки тория прежнего производства (до 1970 г.), а также торийсодержащие отходы, полученные при переработке полиметаллических и редкоземельных руд.

1.3 Торий для ядерных энергетических установок

В отличие от урана торий не является делящимся материалом. Природный торий (практически это чистый ^{232}Th) – воспроизводящий материал в уран-ториевом топливном цикле. Вторичным ядерным топливом в ториевых тепловых реакторах является изотоп урана: ^{233}U . Физическая схема этого приведена на рис 1.

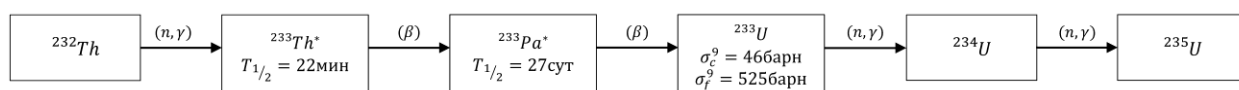


Рисунок 1 – цепочка образования новых ядер из тория-232

Торий-232, поглощая тепловые нейтроны в ядерном реакторе, превращается в ^{233}Th , который через последовательные β -распады переходит в ^{233}Pa и затем в ^{233}U . Искусственный изотоп ^{233}U , производимый в уран-ториевом цикле, как и ^{239}Pu , получаемый в уран-плутониевом цикле или топливном цикле с рециркуляцией плутония, является делящимся.

Уран-плутониевый топливный цикл реализован в энергетических ядерных реакторах. Осуществлению уран-ториевого цикла препятствует присутствие ^{232}U , дочерние продукты распада которого – жесткие γ -излучатели. ^{232}U образуется за счёт реакций $(n, 2n)$ на изотопах ^{232}Th , ^{233}Pa и ^{233}U . Период полураспада U^{232} составляет 69 лет. Ядерные, физические, теплофизические и механические свойства тория позволяют использовать его в качестве воспроизводящего материала в тепловых и быстрых реакторах. Металлический торий не взаимодействует с водой до 100 °С, имеет высокую термическую и радиационную стабильность при эксплуатации в реакторе. При рециркуляции U–Th-топлива, облученного в тепловых или быстрых реакторах, в нем накапливаются продукты радиоактивного распада ^{232}U – источники

γ-излучения. Увеличение интенсивности и энергии (жесткости) излучения может осложнить процессы переработки облученного топлива и воспроизводства топливных элементов.

1.4 Плутоний и торий для ядерных энергетических установок

При сокращении ядерных вооружений высвободится около 220 т оружейного плутония. В целях нераспространения делящихся материалов рекомендуется его перевод в неоружейный (энергетический) плутоний. Около 1000 ТВт электроэнергии может быть получено в результате использования 100 т оружейного плутония [17].

Плутоний, высвобождаемый из боеголовок, может быть в ближайшее время использован в действующих легководных реакторах с применением имеющихся технологий конструирования, производства и эксплуатации топлива.

В оружейном плутонии содержится более 95% изотопа ^{239}Pu , делящегося на тепловых нейтронах. Этого достигают укороченными периодами облучения в промышленных реакторах специальной конструкции. Гражданское использование плутония экономически эффективно при максимальных значениях выгорания. Соответственно изотопная композиция плутония после переработки коммерческих ТВС содержит значительно больше изотопов, не делящихся на тепловых нейтронах. Состав изотопных композиций оружейного и энергетического плутония представлен в таблице 1 [17].

Таблица 1. Изотопные составы плутония в топливе

Изотоп	Содержание в оружейном плутонии, %	Содержание в энергетическом плутонии, %
Pu-238	0	1.8
Pu-239	94	59
Pu-240	5	23
Pu-241	1	12.2
Pu-242	0	4

Низкое содержание ^{240}Pu в оружейном плутонии по сравнению с энергетическим ведет к меньшему поглощению в области резонанса ^{240}Pu (1 эВ) и, соответственно, меньшей наработке делящегося ^{241}Pu .

С технической точки зрения использование оружейного плутония в действующих легководных реакторах осуществимо. При использовании оружейного плутония в российских ВВЭР можно воспользоваться опытом европейских PWR.

1.5 Керамические соединения

Только некоторые комбинации сырьевых материалов – оксидов, карбидов и нитридов тория и делящихся материалов на основе урана и плутония представляют практический интерес. К перспективным соединениям можно отнести $(\text{Th}, \text{U})\text{O}_2$, $(\text{Th}, \text{Pu})\text{O}_2$, $(\text{Th}, \text{U}, \text{Pu})\text{O}_2$, $(\text{Th}, \text{U})\text{C}$, $(\text{Th}, \text{Pu})\text{C}$, $(\text{Th}, \text{U}, \text{Pu})\text{C}$, $(\text{Th}, \text{U})\text{N}$, $(\text{Th}, \text{Pu})\text{N}$, $(\text{Th}, \text{U}, \text{Pu})\text{N}$.

1.5.1 Оксиды

Торий образует два оксидных соединения: ThO_2 и ThO . Наиболее распространенным является диоксид ThO_2 – природный материал, имеющий кубическую модификацию кристаллической структуры фторидного типа. Температура плавления $\text{ThO}_2 \sim 3000^\circ\text{C}$. Он не подвержен легкому термическому разложению. Плотность ThO_2 в нормальных условиях составляет $11,39 \text{ г/см}^3$.

Диоксид тория можно получить нагревом тория в среде кислорода, термическим разложением гидроксида $\text{Th}(\text{OH})_4$, прокаливанием соли тория в щавелевой кислоте или кальцинированием оксалата тория $\text{Th}(\text{C}_2\text{O}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Диоксид тория – тугоплавкое соединение и в сочетании с UO_2 и PuO_2 может

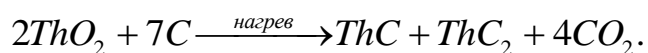
служить топливом ядерных реакторов, образуя смесь делящихся и сырьевых нуклидов.

1.5.2 Карбиды

Металлический торий при высоких температурах легко взаимодействует с графитом с образованием карбидов ThC и ThC₂. Карбиды также могут быть получены нагреванием ThO₂ и графика в электрических или индукционных печах:



При недостатке углерода возможна реакция



Карбид ThC₂ горит в воздухе, образуя диоксид, и гидролизуется в воде или сыром воздухе, в результате чего образуется смесь гидрокарбидов. При нагреве ThC₂ взаимодействует с галогенами, образуя ангидриды, и с серой с образованием сульфида. Карбид ThC образует соединения с UC и PuC, которые могут быть использованы как карбидное ядерное топливо, содержащее сырьевые и делящиеся компоненты.

1.5.3 Нитриды

Торий взаимодействует с азотом и образует ThN и Th₂N₃, Нитрид ThN имеет кристаллическую решетку типа NaCl, т.е. изоморфен UN и PuN.

Нитрид Th₂N₃ можно получить нагревом тория или смеси ThO₂ с Mg или Al в среде азота, а также прокаливание ThC в аммонии. Th₂N₃ взаимодействует с водой или влажным воздухом с образованием NH₃ и ThO₂. Нитриды тория можно использовать для получения торий-уранового или торий-плутониевого

смешанного нитридного топлива, включающего сырьевые и делящиеся нуклиды.

1.6 Программное обеспечение расчетов

Моделирование ТВС-2М реактора ВВЭР-1000 проводилось с помощью программного обеспечения MCU.

Программы серии MCU [7–9] предназначены для прецизионного моделирования процессов переноса нейтронов и фотонов аналоговыми и весовыми (неаналоговыми) методами Монте-Карло на основе оцененных ядерных данных в ядерных реакторах с учетом изменения изотопного состава материалов реактора в процессе кампании.

В программе осуществляется совместное моделирование траекторий нейтронов и гамма-квантов в трехмерной геометрии. Константное обеспечение программы MCU базируется на библиотеке ядерных данных MCUDB50. Библиотека включает в себя несколько разделов, каждый из которых содержит сечения и другие константы взаимодействия нейтронов и гамма-квантов в определенной области энергии с нуклидами, входящими в состав материалов реактора. Входящая в нее библиотека ACE представляет собой поточно представленные нейтронно-физических константы, получаемые при помощи программы NJOY [10] из файлов оцененных ядерных данных ENDF. Библиотека БНАБ/MCU — это расширенная и модифицированная версия 26-групповой системы констант БНАБ-78 [11].

В состав программ MCU входит модуль BURNUP [12], предназначенный для расчета изменения состава делящихся и поглощающих материалов реактора в процессе кампании. Он так же может быть использован для расчета активации конструкций, накопления радионуклидов и т.п. Этот модуль обеспечивает возможность расчетного определения нуклидного состава

материалов реактора и его размножающих свойств в зависимости от глубины выгорания топлива в процессе работы реактора.

Расчет изменения изотопного состава реактора в процессе кампании проводится при заданной зависимости средней мощности энерговыделения в системе от времени. При решении дифференциальных уравнений изменения изотопного состава зон в зависимости от времени используются усредненные по каждой выгорающей зоне одногрупповые сечения нейтронно-физических реакций.

С помощью программ серии MCSU могут быть выполнены прецизионные расчеты различных реакторов. Эти программы позволяют рассчитывать трехмерные системы практически любой сложности (по геометрии и материальному составу).

Рассчитываются следующие величины: коэффициент размножения нейтронов; эффективная доля запаздывающих нейтронов; набор малогрупповых констант (включая коэффициенты диффузии) и потоки нейтронов для регистрационных объектов; скорости ядерных реакций для отдельных нуклидов и их смесей в заданных пространственно-энергетических интервалах.

2 Подготовка и проведение расчетов

Рассмотрим возможность использования тория в тепловых реакторах на примере реактора типа ВВЭР-1000. Для этого сравним размножающие свойства ячеек этого реактора с разными видами топлива, в том числе и с содержащим торий топливом.

Для реализации ториевого топливного цикла необходимо использовать (по крайней мере в стартовой загрузке) традиционные делящиеся изотопы урана и/или плутония. В качестве таковых можно выбрать:

- уран;
- оружейный плутоний;
- энергетический плутоний, извлекаемый из облученного ядерного топлива с большим выгоранием.

В качестве топливных композиций для расчета были выбраны традиционные диоксиды урана, плутония и тория, а также нитриды и карбиды этих нуклидов, имеющие существенно более высокую плотность, чем диоксиды.

Были рассмотрены следующие варианты топливных композиций, имевшие в начале работы 5%, 10% и 19,9% содержание делящихся нуклидов:

- v1 - исходный вариант топлива с UO_2 , применяемый в реакторе ВВЭР, а также UC и UN;
- v2 - оксидные, карбидные и нитридные смеси U с Th;
- v3 - оксидные, карбидные и нитридные смеси Th с Pu, в которой использовался оружейный плутоний;
- v4 - оксидные, карбидные и нитридные смеси Th с Pu, в которой использовался энергетический плутоний.

Сравнение проходило по следующим критериям:

- Длина кампании;
- Глубина выгорания;
- Начальный запас реактивности.

2.1 Описание расчетной модели

При изменении внешнего диаметра твэл изменяется спектр плотности потока нейтронов в активной зоне, что влечёт за собой изменение значений эффективного коэффициента размножения нейтронов и коэффициента воспроизводства ядерного топлива, что, в свою очередь, влияет на длительность кампании ядерного топлива, а также глубину выгорания, поэтому расчет проводился при разных значениях внешнего диаметра твэл, а именно от 0,55 до 1,15 см (стандартное значение - 0,91 см [18]).

Расчет проводился в программе MCU. Для проведения расчета была разработана модель ТВС. Данная ТВС имеет форму шестигранной призмы с равномерной треугольной решеткой расстановки твэл с шагом 1,275 см. Высота топливного столба составляет 353 см, а размер ТВС «под ключ» 23,6 см. В данной ТВС имеются 312 твэл и 18 наплавляющих каналов под пэл. Диаметр твэл в стандартной модели составляет 0,91 см. Оболочка толщиной 0,069 см выполнена из циркониевого сплава с добавлением 1% ниобия.

На рисунке 2 приведена модель ТВС со стандартным диаметром твэл:

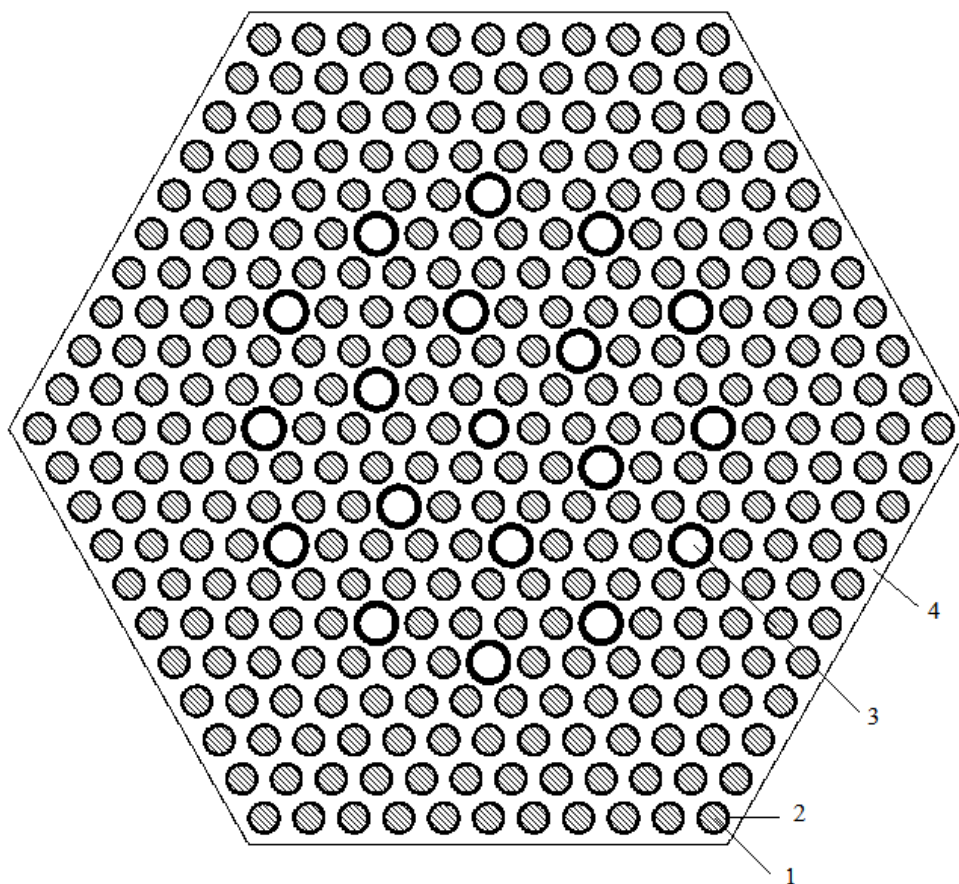


Рисунок 2 – Модель ТВС со стандартным диаметром твэл: 1 – топливо, 2 – оболочка твэл, 3 – направляющий канал, 4 – теплоноситель

Для оценки влияния диаметра твэл на длительность кампании и глубину выгорания топливной композиции было разработано еще несколько моделей с различными диаметрами твэл. На рисунке 3 приведены данные модели ТВС.

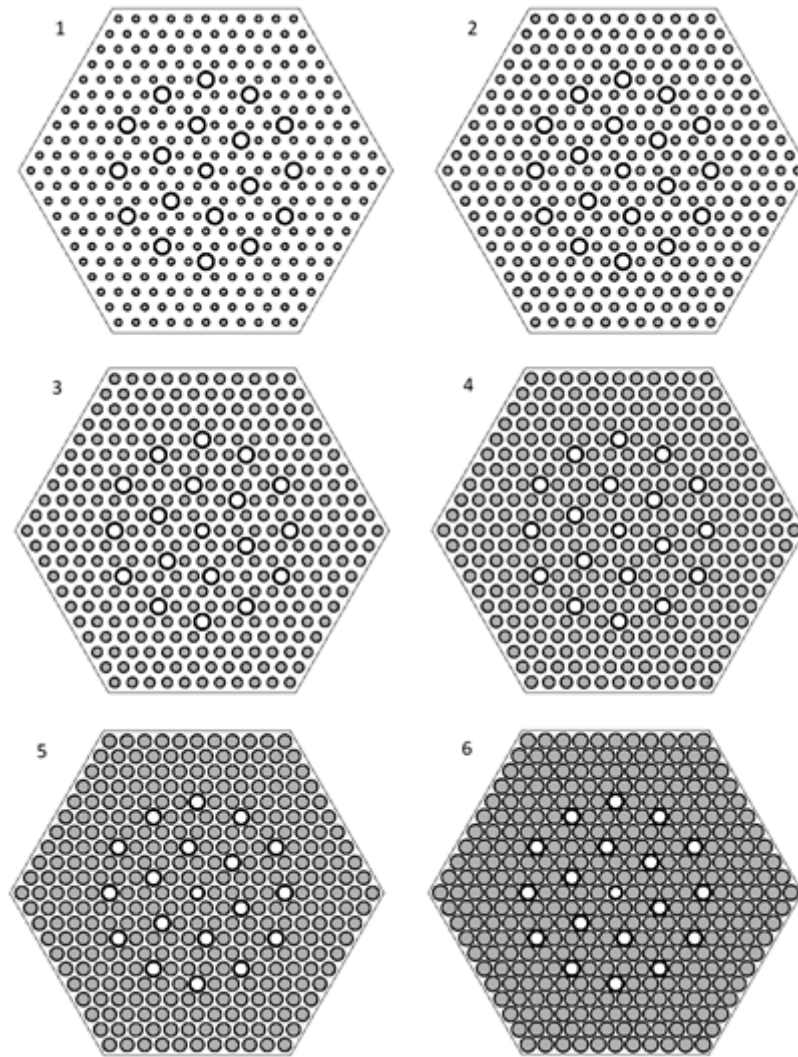


Рисунок 3 – Модели ТВС для расчета с различным диаметром твэл: 1 – 0,55 см, 2 – 0,67 см, 3 – 0,79 см, 4 – 0,91 см, 5 – 1,03 см, 6 – 1,15 см

2.2 Оксидные топливные композиции

В работе представлены графики зависимости k_{inf} , длины кампании и глубины выгорания от диаметра твэл для различных топливных композиций и обогащения. По представленным зависимостям можно заметить, что при изменении внешнего диаметра твэл длительность кампании и глубина выгорания ядерного топлива существенно меняется, поэтому целесообразно сразу провести оптимизацию внешнего диаметра твэл для оценки наибольшей

длительности кампании и глубины выгорания выбранных топливных композиций.

Рассмотрим оксидные топливные композиции. На рисунках 4-12 представлены графики сравнения начального запаса реактивности, длины кампании и глубины выгорания от диаметра ТВЭЛ для различных топливных композиций и содержания делящихся нуклидов в топливе.

На рисунках 4-6 представлены графики для топлива с 5% содержанием делящихся нуклидов в топливе.

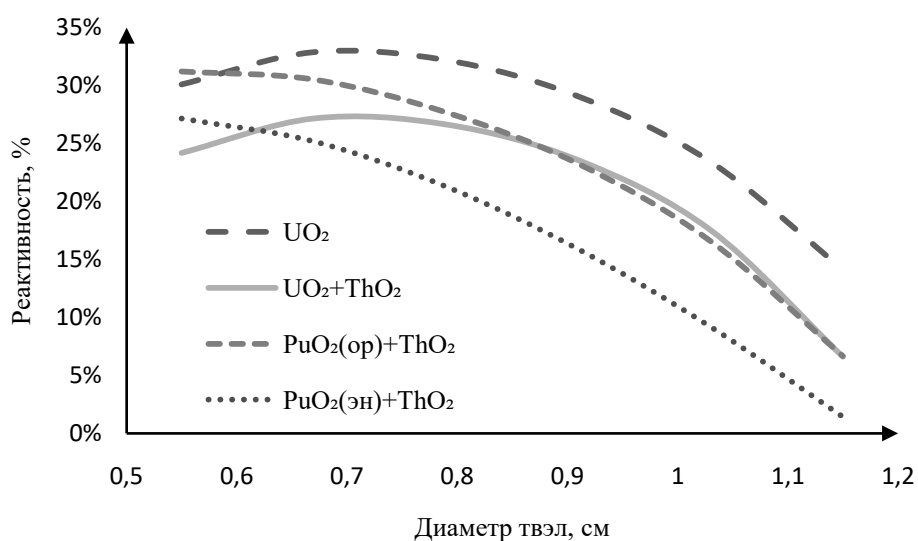


Рисунок 4 – Зависимость размножающих свойств ТВС-2М для оксидных топливных композиций с 5% содержанием делящихся нуклидов от диаметра ТВЭЛ

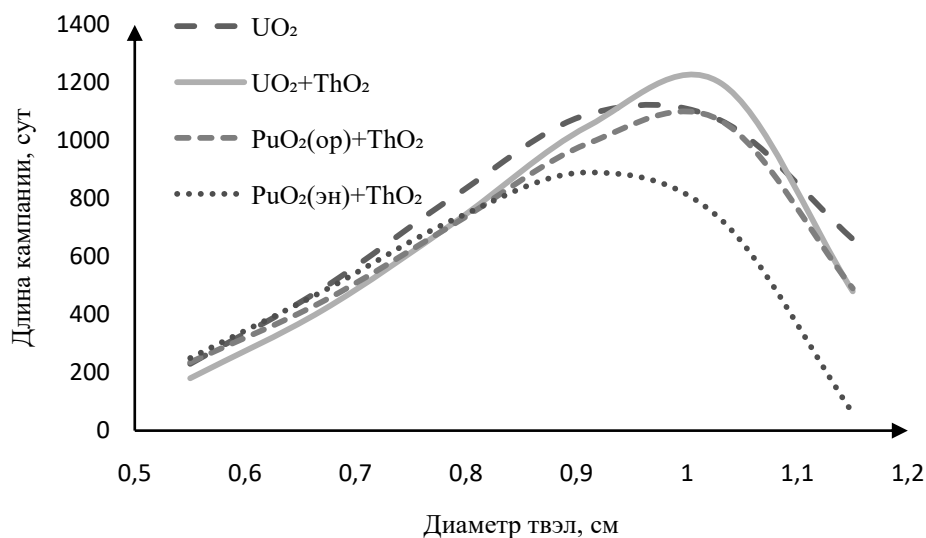


Рисунок 5 – Зависимость длины кампании для оксидных топливных композиций с 5% содержанием делящихся нуклидов от диаметра ТВЭЛ

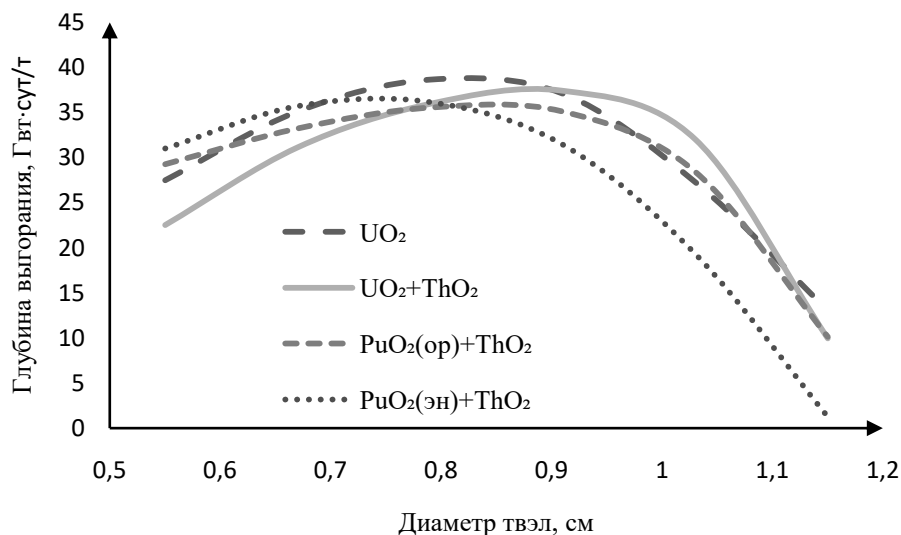


Рисунок 6 – Зависимость глубины выгорания для оксидных топливных композиций с 5% содержанием делящихся нуклидов от диаметра ТВЭЛ

Из графика зависимости длины кампании от диаметра ТВЭЛ видно, что максимальную длину кампании для 5% содержания делящихся нуклидов в топливе имеет топливная композиция со смесью урана и тория. При диаметре ТВЭЛ 1,01 см длина кампании достигает 1230 суток, а глубина выгорания составляет 33 ГВт·сут/т. При уменьшении диаметра ТВЭЛ до 0,89 см данная топливная композиция достигает наибольшей глубины выгорания

37,5 ГВт·сут/т, при длине кампании в 1010 суток. При диаметре твэл в 0,83 см топливная композиция из двуокиси урана имеет наибольшую глубину выгорания по сравнению с остальными топливными композициями 39 ГВт·сут/т, при длине кампании в 920 суток. Остальные топливные композиции показывают меньшую длину кампании и глубину выгорания.

При стандартном значении диаметра твэл (0,91см) данные топливные композиции имеют примерно одинаковую глубину выгорания (около 37 ГВт·сут/т), а длина кампании чистой двуокиси урана на 40 суток выше (1090 суток), чем у смеси урана с торием.

Из графика зависимости размножающих свойств видно, что у всех топливных композиций и при любых рассматриваемых диаметрах твэл значения начального запаса реактивности ниже, чем у стандартной топливной композиции из двуокиси урана.

На рисунках 7-9 представлены графики для топлива с 10% содержанием делящихся нуклидов в топливе.

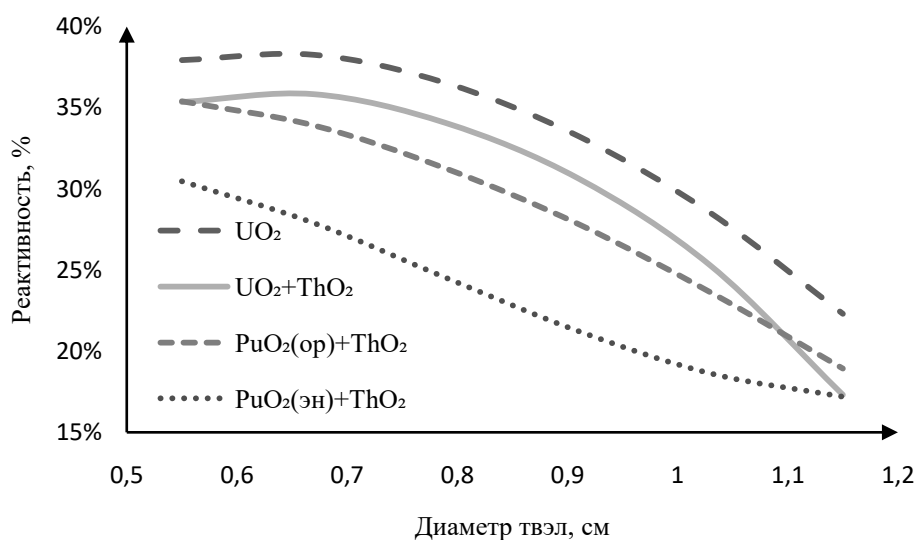


Рисунок 7 – Зависимость размножающих свойств ТВС-2М для оксидных топливных композиций с 10% содержанием делящихся нуклидов в топливе от диаметра твэл

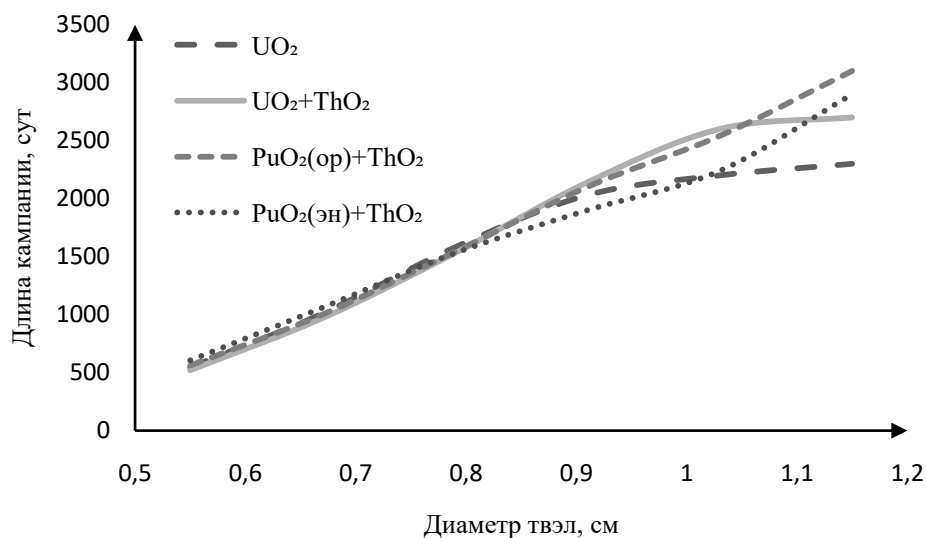


Рисунок 8 – Зависимость длины кампании для оксидных топливных композиций с 10% содержанием делящихся нуклидов в топливе от диаметра ТВЭЛ

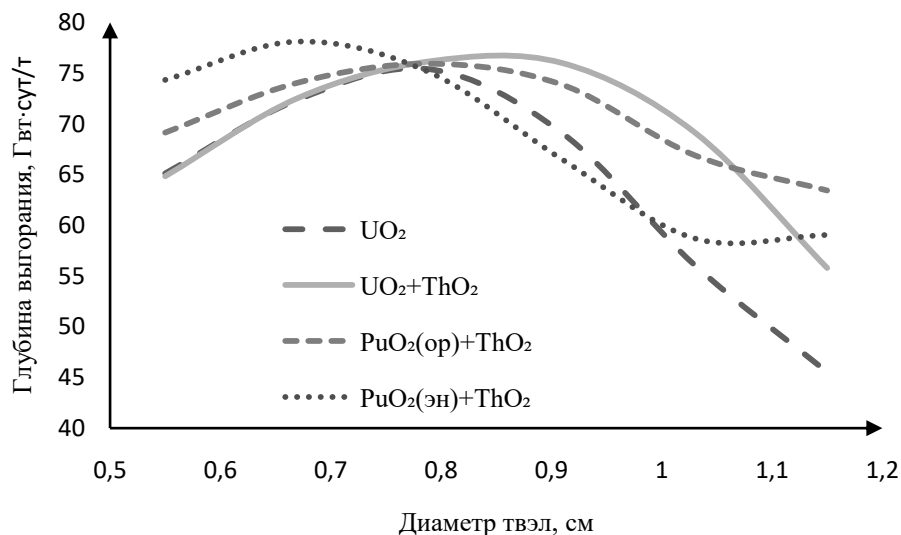


Рисунок 9 – Зависимость глубины выгорания для оксидных топливных композиций с 10% содержанием делящихся нуклидов в топливе от диаметра ТВЭЛ

Из графика зависимости длины кампании от диаметра ТВЭЛ видно, что максимальную длину кампании для 10% обогащения имеет топливная композиция со смесью тория и оружейного плутония. При максимальном в расчете диаметре ТВЭЛ (1,15 см) длина кампании достигает 3100 суток, а глубина выгорания составляет 63,5 ГВт·сут/т. Чтобы достичь максимальной глубины выгорания с наименьшей потерей в длительности кампании

необходимо уменьшить диаметр твэл до 0,86 см. Тогда, топливная композиция со смесью урана с торием имеет глубину выгорания 76,5 ГВт·сут/т, а длину кампании 1900 суток.

При стандартном значении диаметра твэл как длина кампании, так и глубина выгорания максимальна у топливной композиции со смесью урана и тория. Длина кампании данной топливной композиции составляет 2140 суток, при глубине выгорания в 76 ГВт·сут/т.

Из графика зависимости размножающих свойств видно, что у всех топливных композиций и при любых рассматриваемых диаметрах твэл значения начального запаса реактивности ниже, чем у стандартной топливной композиции из двуокиси урана.

На рисунках 10-12 представлены графики для топлива с 19,9% содержанием делящихся нуклидов в топливе.

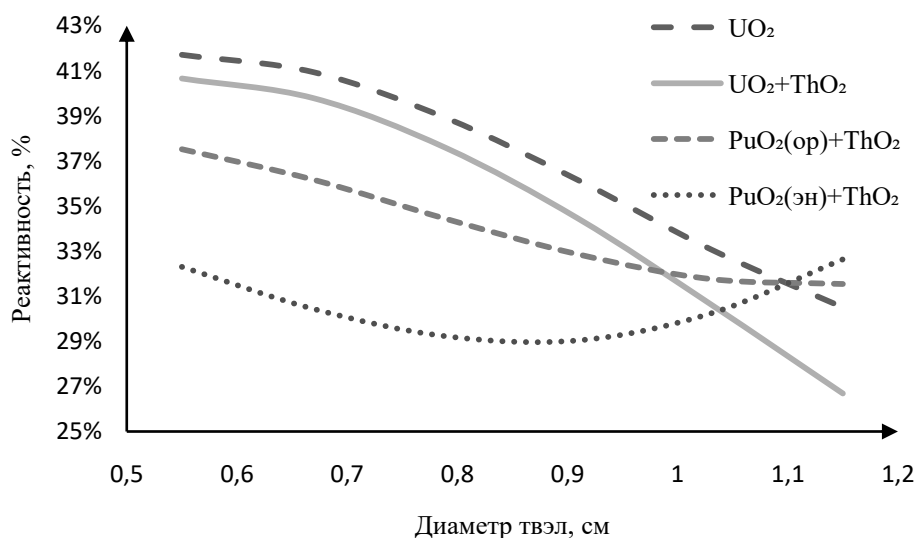


Рисунок 10 – Зависимость размножающих свойств ТВС-2М для оксидных топливных композиций с 19,9% содержанием делящихся нуклидов в топливе от диаметра твэл

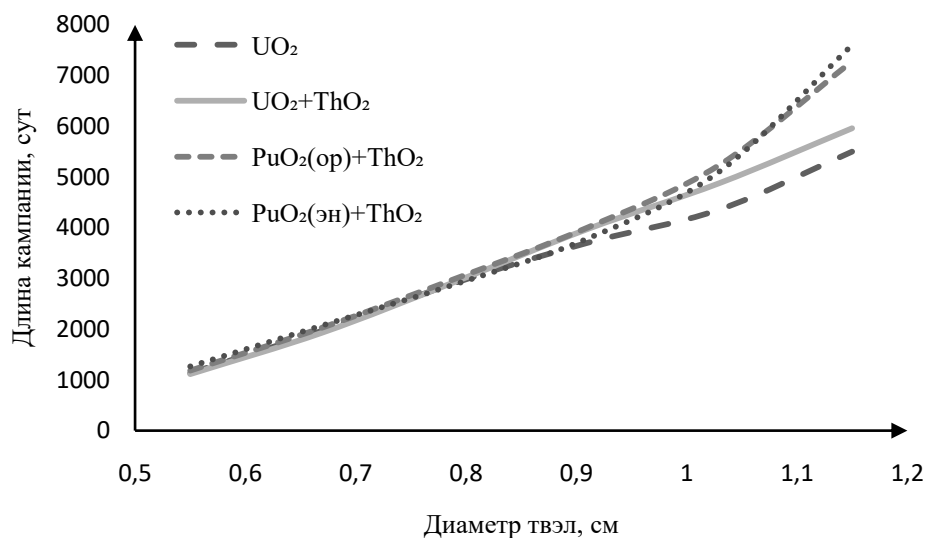


Рисунок 11 – Зависимость длины кампании для оксидных топливных композиций с 19,9% содержанием делящихся нуклидов в топливе от диаметра ТВЭЛ

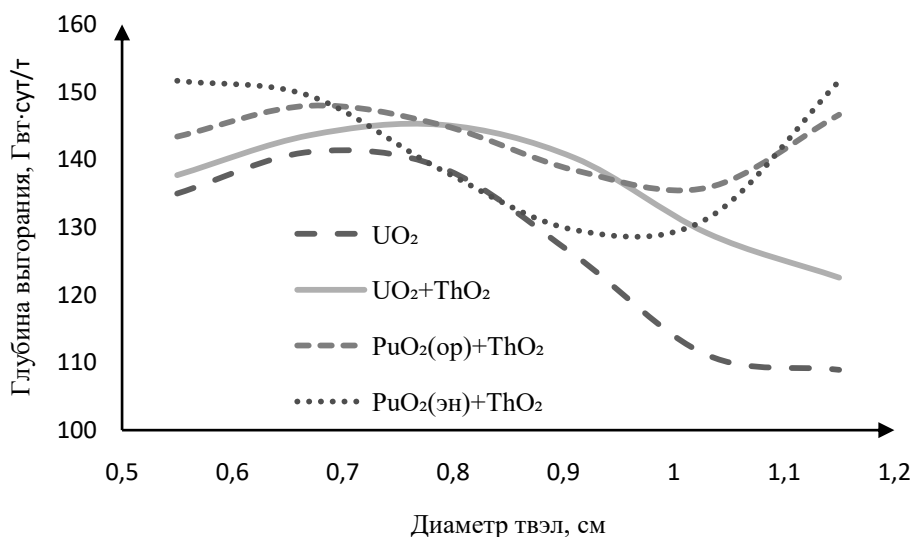


Рисунок 12 – Зависимость глубины выгорания для оксидных топливных композиций с 19,9% содержанием делящихся нуклидов в топливе от диаметра ТВЭЛ

Как и в предыдущем случае, максимальная длина кампании у всех топливных композиций достигается при максимальном диаметре ТВЭЛ (1,15 см) и варьируется от 5500 до 7600 суток. У топливной композиции со смесью энергетического плутония и тория при данном диаметре ТВЭЛ максимальной является как длина кампании, так и глубина выгорания

(7600 суток, 150 ГВт·сут/т) по сравнению с остальными вариантами топливных композиций. Отмечено, что у данной топливной композиции при заданном диаметре максимальным также является и первоначальный запас реактивности.

При стандартном значении диаметра ТВЭЛ как длина кампании, так и глубина выгорания максимальна у топливной композиции со смесью урана и тория. Длина кампании данной топливной композиции составляет 3970 суток, при глубине выгорания в 140 ГВт·сут/т. Первоначальный запас реактивности данной топливной композиции ниже, чем у чисто уранового топлива.

Из графика зависимости размножающих свойств видно, что у всех топливных композиций при стандартном диаметре ТВЭЛ значения начального запаса реактивности ниже, чем у стандартной топливной композиции из двуоксида урана. При максимальных значениях диаметра ТВЭЛ плутоний-ториевые топливные композиции имеют больший запас реактивности по сравнению с чисто урановым топливом.

2.3 Нитридные топливные композиции

Рассмотрим нитридные топливные композиции. На рисунках 13-21 представлены графики сравнения начального запаса реактивности, длины кампании и глубины выгорания от диаметра ТВЭЛ для различных топливных композиций и содержаний делящихся нуклидов в топливе.

На рисунках 13-15 представлены графики для топлива с 5% содержанием делящихся нуклидов в топливе.

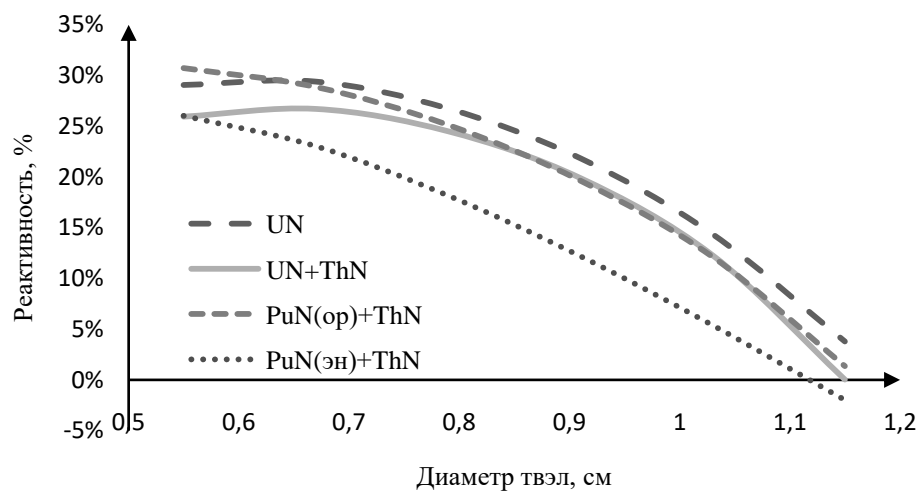


Рисунок 13 – Зависимость размножающих свойств ТВС-2М для нитридных топливных композиций с 5% содержанием делящихся нуклидов от диаметра твэл

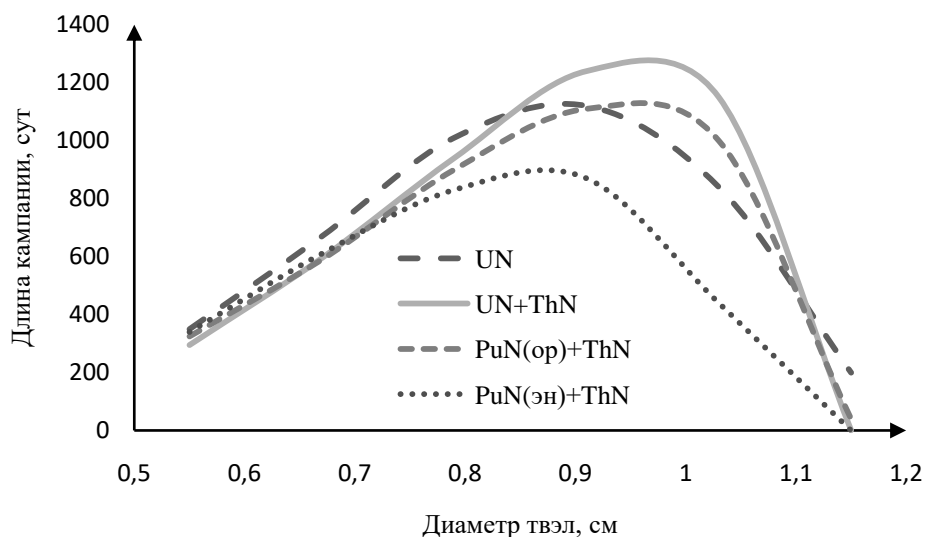


Рисунок 14 – Зависимость длины кампании для нитридных топливных композиций с 5% содержанием делящихся нуклидов от диаметра твэл

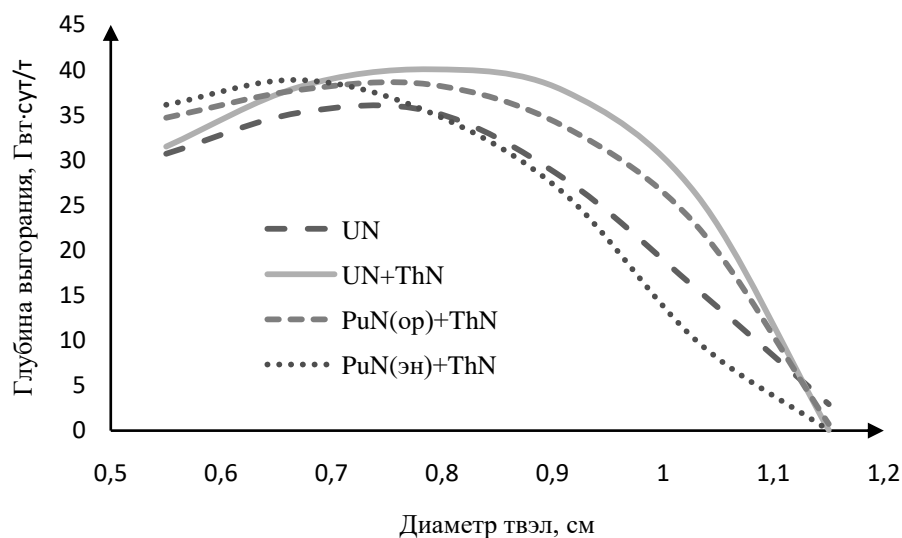


Рисунок 15 – Зависимость глубины выгорания для нитридных топливных композиций с 5% содержанием делящихся нуклидов от диаметра ТВЭЛ

Из графиков зависимости длины кампании и глубины выгорания от диаметра ТВЭЛ видно, что максимальную длину кампании и глубину выгорания для 5% содержания делящегося нуклида в топливе имеет топливная композиция со смесью урана и тория. При диаметре ТВЭЛ 0,96 см длина кампании достигает 1260 суток, а глубина выгорания составляет 34 ГВт·сут/т.

При стандартном значении диаметра ТВЭЛ как длина кампании, так и глубина выгорания также максимальна у топливной композиции со смесью урана и тория. Длина кампании данной топливной композиции составляет 1240 суток, при глубине выгорания в 37,5 ГВт·сут/т.

Из графика зависимости размножающих свойств видно, что у всех топливных композиций и при любых рассматриваемых диаметрах ТВЭЛ значения начального запаса реактивности ниже, чем у чисто урановой топливной композиции.

На рисунках 16-18 представлены графики для топлива с 10% содержанием делящихся нуклидов в топливе.

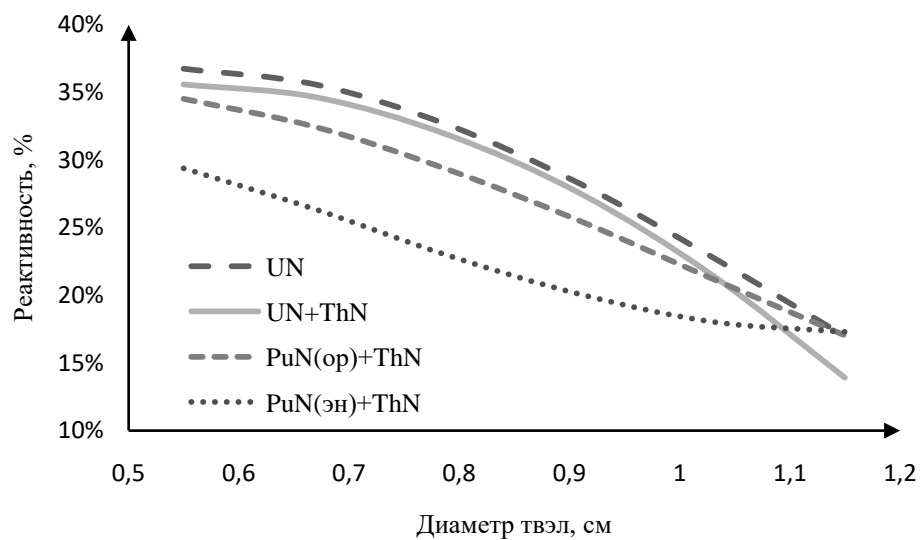


Рисунок 16 – Зависимость размножающих свойств ТВС-2М для нитридных топливных композиций с 10% содержанием делящихся нуклидов в топливе от диаметра твэл

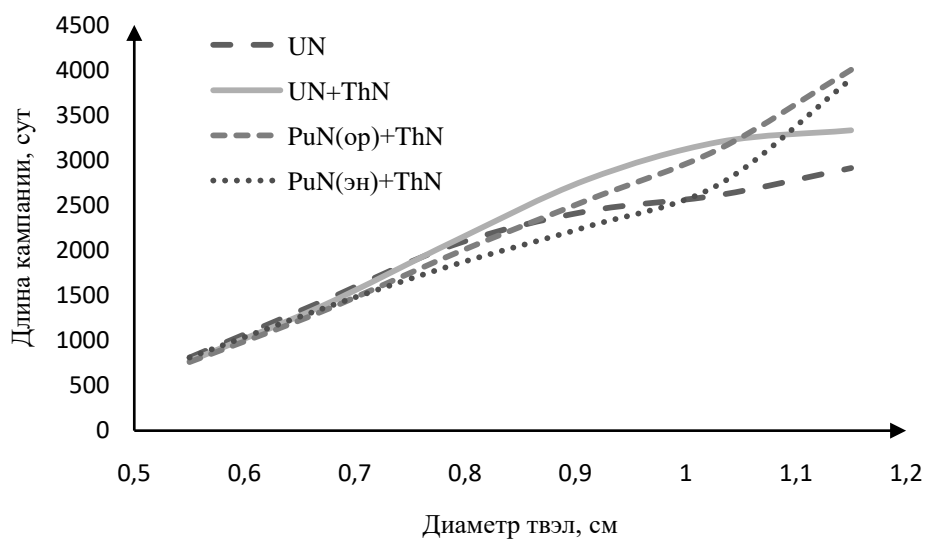


Рисунок 17 – Зависимость длины кампании для нитридных топливных композиций с 10% содержанием делящихся нуклидов в топливе от диаметра твэл

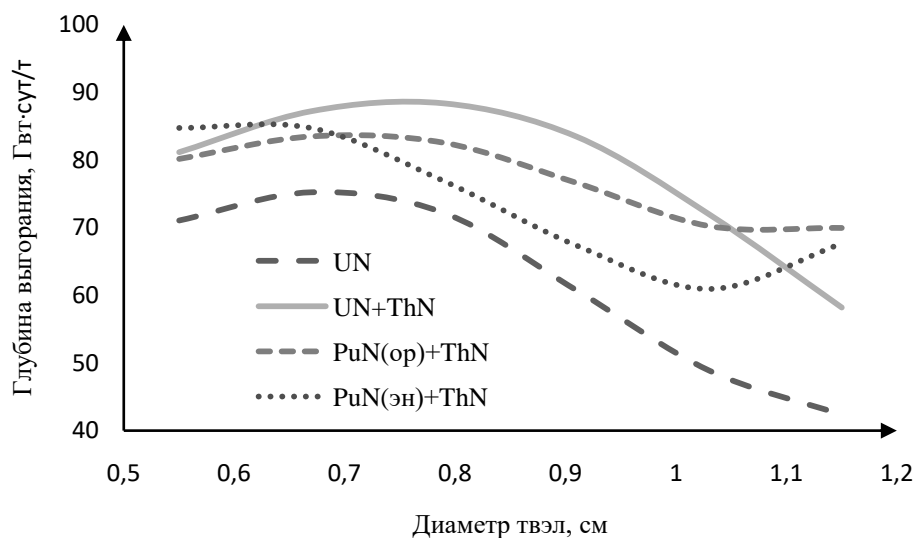


Рисунок 18 – Зависимость глубины выгорания для нитридных топливных композиций с 10% содержанием делящихся нуклидов в топливе от диаметра твэл

Для 10% содержания делящихся нуклидов в топливе длина кампании максимальна при наибольшем значении диаметра твэл. Так, по сравнению со всеми топливными композициями наибольшую длину кампании имеет смесь оружейного плутония и тория, а именно 4000 суток при глубине выгорания в 70 ГВт·сут/т. Максимальную же глубину выгорания имеет топливная композиция со смесью урана и тория. При диаметре твэл 0,76 см глубина выгорания данной топливной композиции составляет 88,5 ГВт·сут/т, при длительности кампании в 1930 суток.

При стандартном значении диаметра твэл как длина кампании, так и глубина выгорания максимальна у топливной композиции со смесью урана и тория. Длина кампании данной топливной композиции составляет 2780 суток, при глубине выгорания в 83,5 ГВт·сут/т.

Из графика зависимости размножающих свойств видно, что у всех топливных композиций и при любых рассматриваемых диаметрах твэл значения начального запаса реактивности не превышает запаса реактивности у чисто урановой топливной композиции.

На рисунках 19-21 представлены графики для топлива с 19,9% содержанием делящихся нуклидов в топливе.

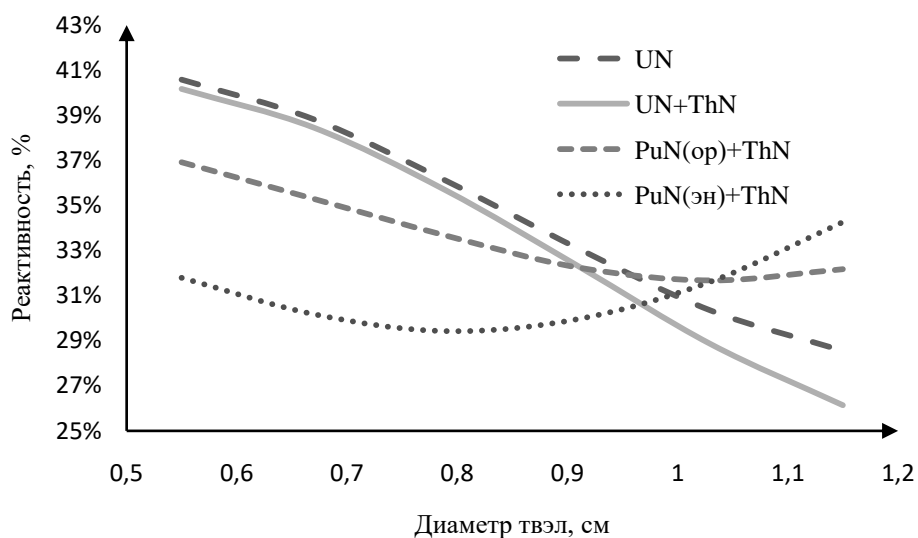


Рисунок 19 – Зависимость размножающих свойств ТВС-2М для нитридных топливных композиций с 19,9% содержанием делящихся нуклидов в топливе от диаметра ТВЭЛ

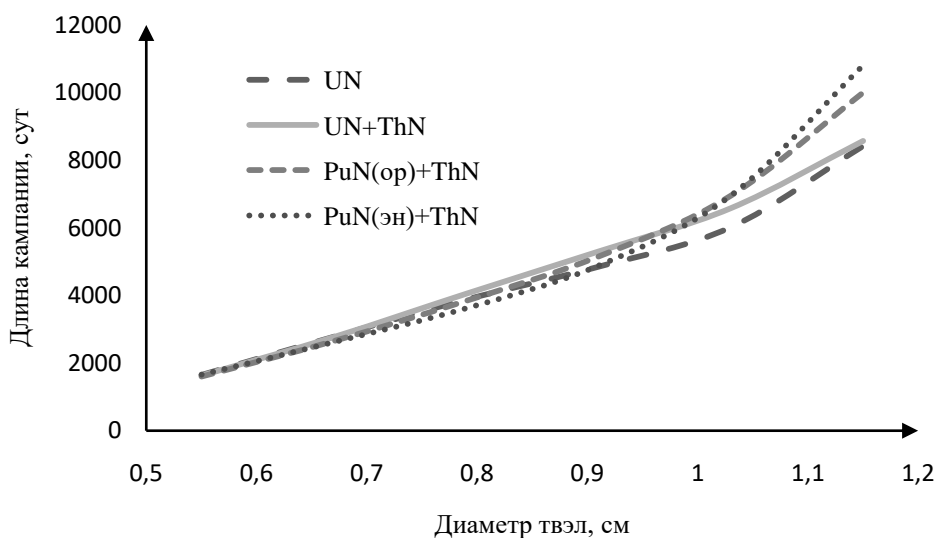


Рисунок 20 – Зависимость длины кампании для нитридных топливных композиций с 19,9% содержанием делящихся нуклидов в топливе от диаметра ТВЭЛ

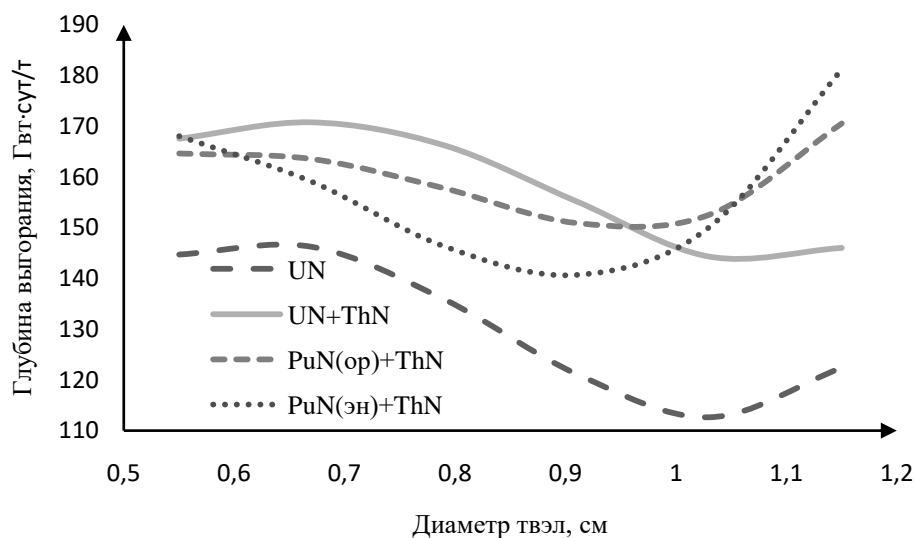


Рисунок 21 – Зависимость глубины выгорания для нитридных топливных композиций с 19,9% содержанием делящихся нуклидов в топливе от диаметра твэл

Из графиков зависимости длины кампании и глубины выгорания от диаметра твэл видно, что максимальную длину кампании и глубину выгорания для данного содержания делящихся нуклидов в топливе имеет смесь нитрида энергетического плутония и тория. При диаметре твэл 1,15 см длина кампании достигает 10800 суток, а глубина выгорания составляет 181 ГВт·сут/т.

При стандартном значении диаметра твэл топливная композиция со смесью урана и тория лидирует как по длине кампании, так и по глубине выгорания. Длина кампании данной топливной композиции составляет 5300 суток, при глубине выгорания в 155 ГВт·сут/т.

Из графика зависимости размножающих свойств видно, что у всех топливных композиций при стандартном диаметре твэл значения начального запаса реактивности ниже, чем у стандартной топливной композиции из двуоксида урана. При максимальных значениях диаметра твэл плутоний-ториевые топливные композиции имеют больший запас реактивности по сравнению с чисто урановым топливом.

2.4 Карбидные топливные композиции

Рассмотрим карбидные топливные композиции. На рисунках 22-30 представлены графики сравнения начального запаса реактивности, длины кампании и глубины выгорания от диаметра ТВЭЛ для различных топливных композиций и содержанием делящихся нуклидов в топливе.

На рисунках 22-24 представлены графики для топлива с 5% содержанием делящихся нуклидов в топливе.

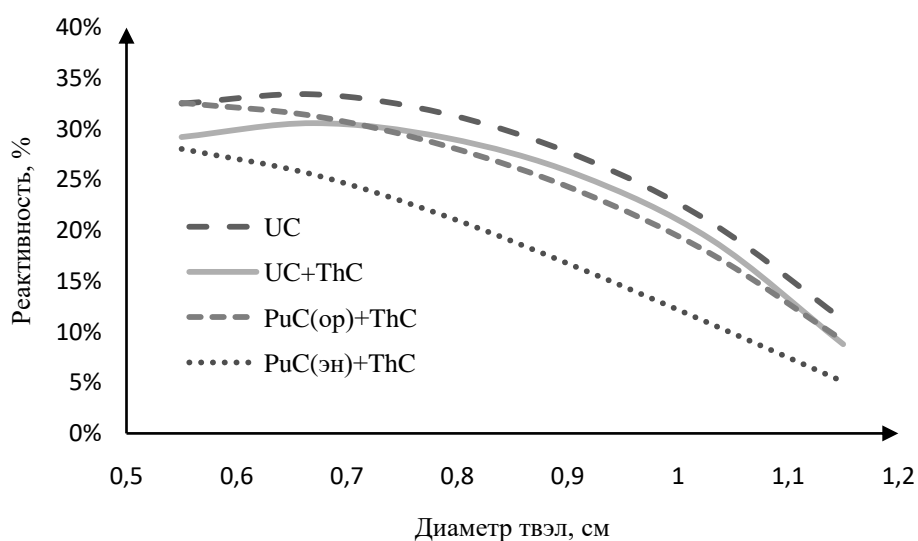


Рисунок 22 – Зависимость размножающих свойств ТВС-2М для карбидных топливных композиций с 5% содержанием делящихся нуклидов от диаметра ТВЭЛ

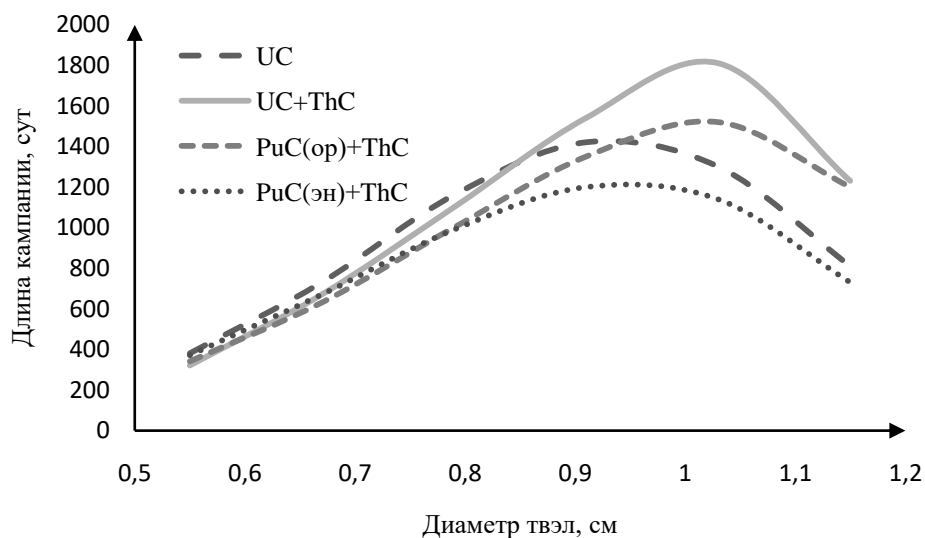


Рисунок 23 – Зависимость длины кампании для карбидных топливных композиций с 5% содержанием делящихся нуклидов от диаметра ТВЭЛ

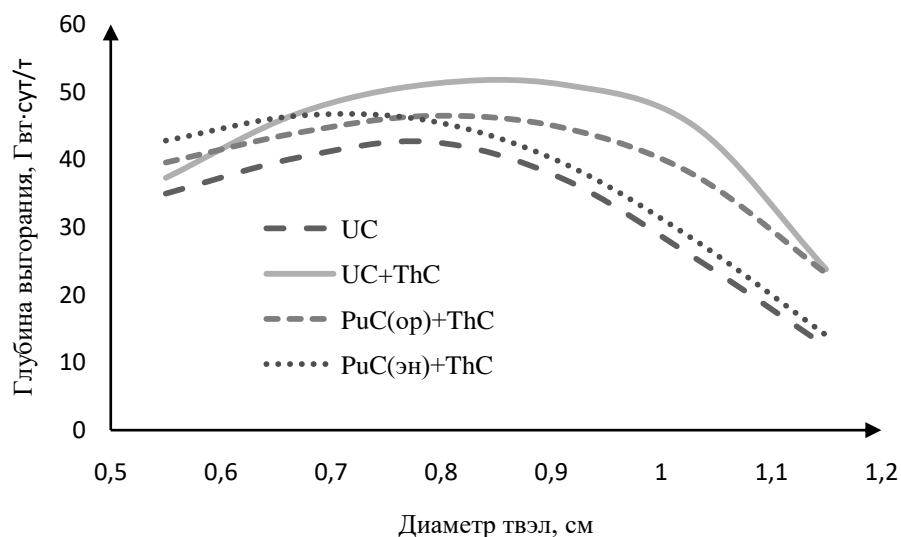


Рисунок 24 – Зависимость глубины выгорания для карбидных топливных композиций с 5% содержанием делящихся нуклидов от диаметра ТВЭЛ

Из анализа графиков зависимости длины кампании и глубины выгорания от диаметра ТВЭЛ видно, что максимальную длину кампании и глубину выгорания для 5% содержания делящихся нуклидов в топливе имеет топливная композиция со смесью урана и тория. Максимальная длительность кампании в 1830 суток достигается при диаметре ТВЭЛ 1,02 см, при этом глубина выгорания равна 46 ГВт·сут/т. Максимальная же глубина выгорания

достигается при диаметре твэл 0,86 см и составляет 52 ГВт·сут/т, при длительности кампании в 1370 суток.

При стандартном значении диаметра твэл топливная композиция со смесью урана и тория также лидирует как по длине кампании, так и по глубине выгорания. Длина кампании данной топливной композиции составляет 1540 суток, при глубине выгорания в 51 ГВт·сут/т.

Из графика зависимости размножающих свойств видно, что у всех топливных композиций и при любых рассматриваемых диаметрах твэл значения начального запаса реактивности ниже, чем чисто урановой топливной композиции.

На рисунках 25-27 представлены графики для топлива с 10% содержанием делящихся нуклидов в топливе.

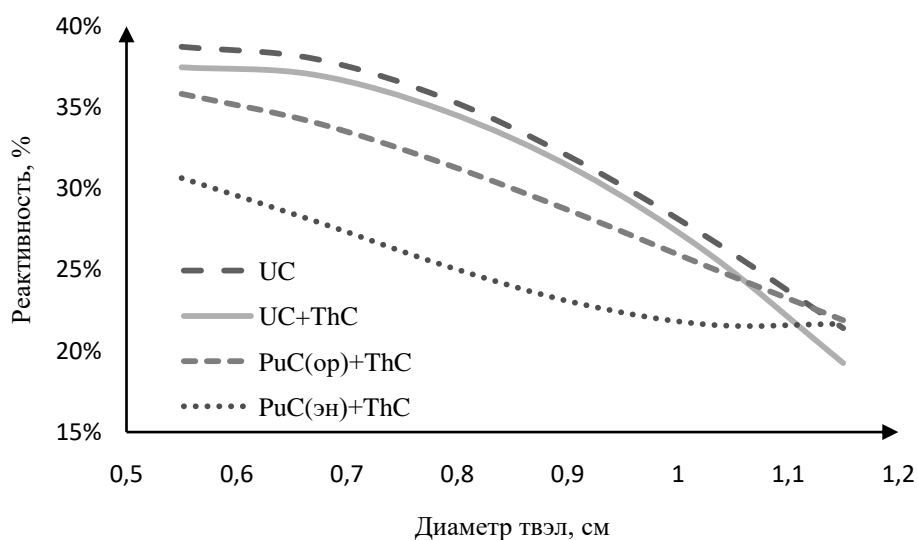


Рисунок 25 – Зависимость размножающих свойств ТВС-2М для карбидных топливных композиций с 10% содержанием делящихся нуклидов в топливе от диаметра твэл

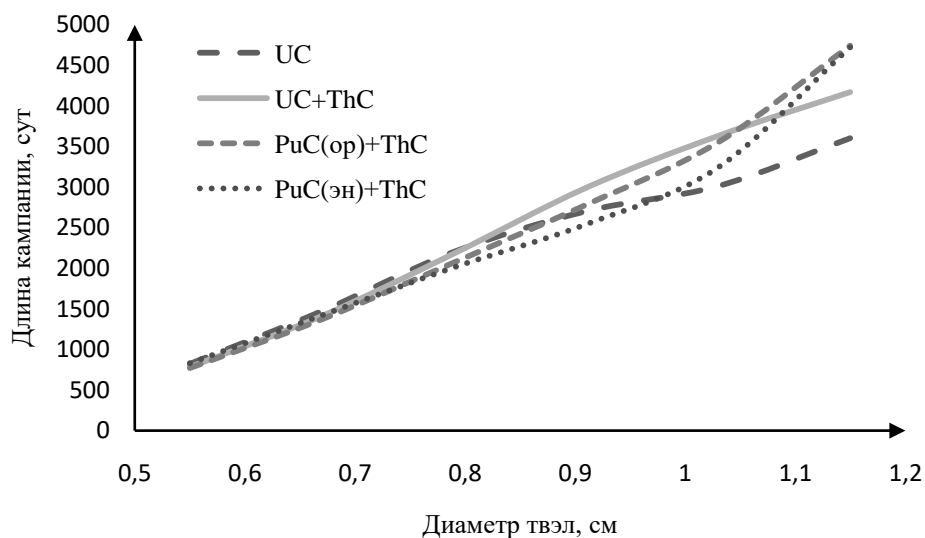


Рисунок 26 – Зависимость длины кампании для карбидных топливных композиций с 10% содержанием делящихся нуклидов в топливе от диаметра ТВЭЛ

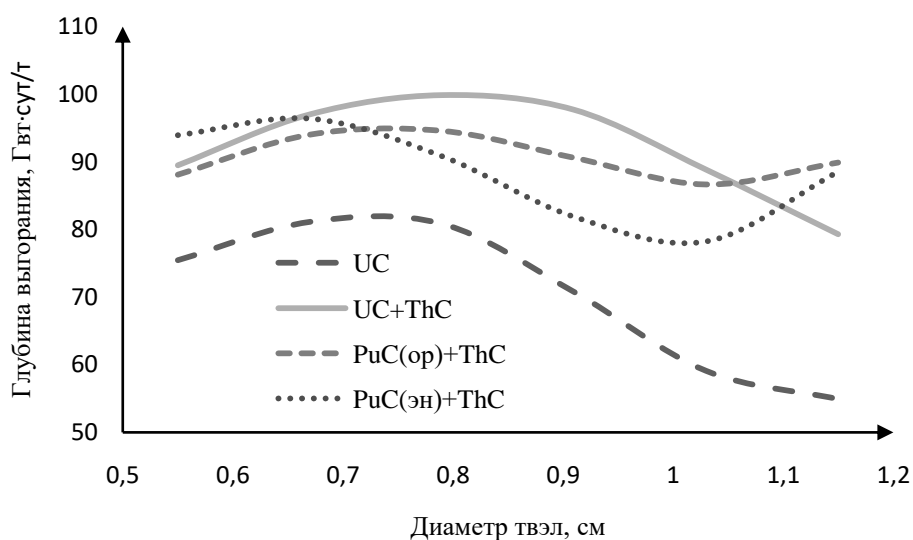


Рисунок 27 – Зависимость глубины выгорания для карбидных топливных композиций с 10% содержанием делящихся нуклидов в топливе от диаметра ТВЭЛ

Из графика зависимости длины кампании от диаметра ТВЭЛ видно, что максимальная длительность кампании для 10% содержания делящихся нуклидов в топливе достигается топливной композицией из смеси оружейного плутония и тория при максимальном диаметре ТВЭЛ, а именно 1,15 см. При данном диаметре длительность кампании данной топливной композиции

составляет 4740 суток при глубине выгорания в 90 ГВт·сут/т. Максимальная же глубина выгорания достигается топливной композицией со смесью урана и тория при диаметре твэл 0,81 см и составляет 100 ГВт·сут/т, при длительности кампании 2330 суток.

При стандартном значении диаметра твэл топливная композиция со смесью урана и тория лидирует как по длине кампании, так и по глубине выгорания. Длина кампании данной топливной композиции составляет 2990 суток, при глубине выгорания в 97 ГВт·сут/т.

Из графика зависимости размножающих свойств видно, что у всех топливных композиций и при любых рассматриваемых диаметрах твэл значения начального запаса реактивности не превышает запаса реактивности у чисто урановой топливной композиции.

На рисунках 28-30 представлены графики для топлива с 19,9% содержанием делящихся нуклидов в топливе.

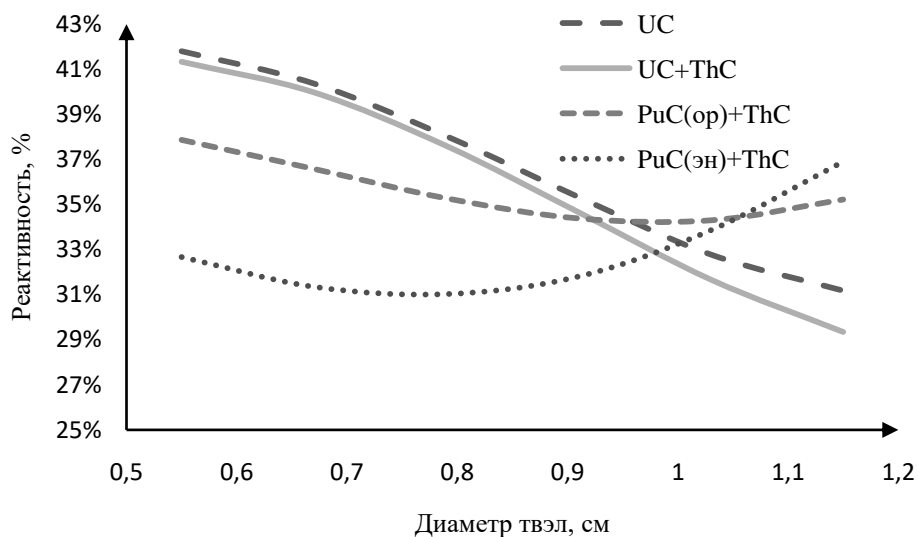


Рисунок 28 – Зависимость размножающих свойств ТВС-2М для карбидных топливных композиций с 19,9% содержанием делящихся нуклидов в топливе от диаметра твэл

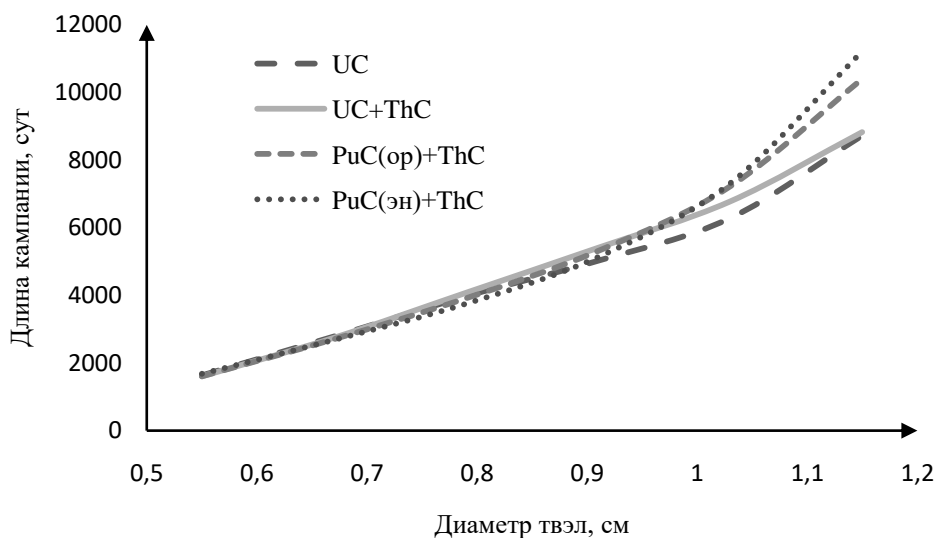


Рисунок 29 – Зависимость длины кампании для карбидных топливных композиций с 19,9% содержанием делящихся нуклидов в топливе от диаметра ТВЭЛ

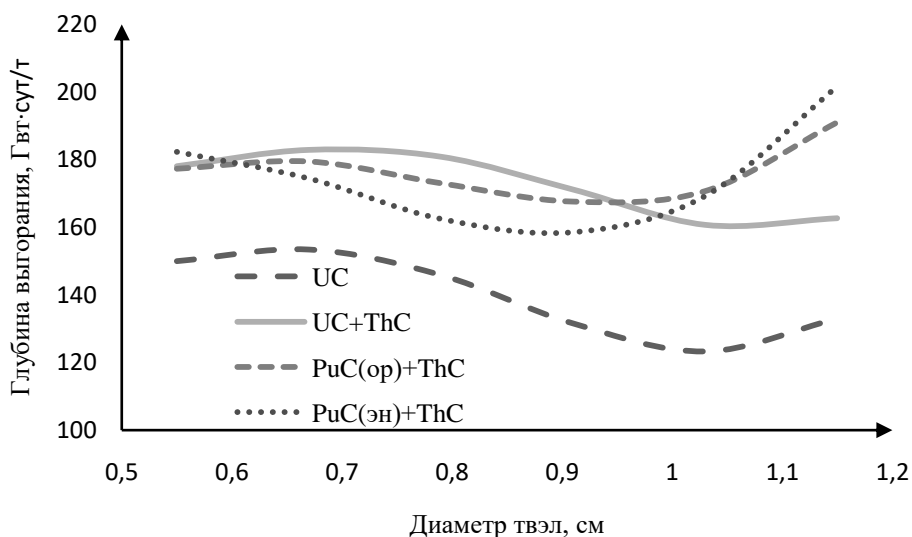


Рисунок 30 – Зависимость глубины выгорания для карбидных топливных композиций с 19,9% содержанием делящихся нуклидов в топливе от диаметра ТВЭЛ

Из графиков зависимости длины кампании и глубины выгорания от диаметра ТВЭЛ видно, что максимальную глубину выгорания и длительность кампании для 19,9% содержания делящихся нуклидов в топливе имеет топливная композиция со смесью энергетического плутония и тория при диаметре ТВЭЛ в 1,15 см. Длительность кампании данной смеси при таком диаметре ТВЭЛ составляет 11210 суток, а глубина выгорания 201,5 ГВт·сут/т.

При стандартном значении диаметра ТВЭЛ топливная композиция со смесью урана и тория показывает наибольшую длительность кампании и глубину выгорания. Длина кампании данной топливной композиции составляет 5400 суток, при глубине выгорания в 171 ГВт·сут/т.

Из графика зависимости размножающих свойств видно, что у всех топливных композиций при стандартном диаметре ТВЭЛ значения начального запаса реактивности ниже, чем у стандартной топливной композиции из двуоксида урана. При максимальных значениях диаметра ТВЭЛ плутоний-ториевые топливные композиции имеют больший запас реактивности по сравнению с чисто урановым топливом.

3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок и технологий, отвечающих предъявляемым требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта, формирование концепции проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- определение возможных альтернатив проведения научных исследований;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования.

В данной диссертационной работе проведен расчет нейтронно-физических характеристик ТВС-2М с различными видами топливных композиций при помощи программы MSU

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результатом исследования являются известные значения длины кампании, глубины выгорания, а также начального запаса реактивности, для различных топливных композиций и сравнение данных топливных композиций между собой, с целью определения наиболее перспективной из них.

Целевым рынком данного исследования будут являться государственные корпорации по атомной энергетике, атомная и смежные научные отрасли.

Сегментировать рынок услуг можно по степени потребности использования данных расчетов. Результаты сегментирования представлены на рисунке 31.

		Выравнивание энерговыделения в кипящих реакторах	
		Атомная промышленность	Научная отрасль
Потребность	Сильная		
	Слабая		

Рисунок 31 – Карта сегментирования рынка услуг по использованию проведенных расчетов

3.1.2 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или

возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей.

Слабые стороны – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей. Это то, что плохо получается в рамках проекта или где он располагает недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

В таблице 3 представлена интерактивная матрица проекта, в которой показано соотношение сильных сторон с возможностями, что позволяет более подробно рассмотреть перспективы разработки.

Таблица 3 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта	Сильные стороны проекта				
	C1	C2	C3	C4	C5
B1	+	+	+	+	+
B2	+	+	+	+	+
B3	+	+	–	+	+
B4	+	+	+	+	+
B5	+	+	+	+	+

В матрице пересечения сильных сторон и возможностей имеет определенный результат: «плюс» – сильное соответствие сильной стороны и возможности, «минус» – слабое соотношение.

В результате была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, представленная в таблице 4.

Таблица 4 – SWOT-анализ

	Сильные стороны проекта: С1. Научная новизна. С2. Современная технология. С3. Возможность контроля процесса расчета. С4. Бюджетное финансирование С5. Обоснование преимуществ топливных композиций на основе тория.	Слабые стороны проекта: Сл1. Человеческий фактор. Сл2. Погрешность расчетов. Сл3. Продолжительное время расчетов. Сл4. Высокий уровень знаний для выполнения расчетов. Сл5. Появление более точных программ.
Возможности: В1. Использование расчетов для атомной промышленности и научной отрасли. В2. Возможность расчета различного топлива. В3. Актуальность темы для публикации в научных журналах. В4. Повышение безопасности работы при уменьшении начального запаса реактивности. В5. Дополнительный спрос на результаты расчетов.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и возможности»: 1. Научная новизна, и, как следствие, публикации в цитируемых научных журналах. 2. Получение нейтронно-физических характеристик для любого вида топлива.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и возможности»: 1. Возникновение ошибок из-за длительных расчетов; Данный фактор при внимательной работе можно устранить. 2. Требование наличия обширных знаний по расчётам в специализированных программах.
Угрозы: У1. Недостаточная точность расчетов. У2. Низкий спрос на результаты при отсутствии публикаций. У3. Отсутствие источников для проверки полученных результатов. У4. Сложность внедрения новых видов топливных композиций в работу.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Сильные стороны и угрозы»: 1. В наши дни реакторостроение развивается в сторону ВВЭР, и оказывают большое влияние на атомную отрасль, повышение безопасности эксплуатации на всех этапах было и остается насущной необходимостью. 2. Несмотря на возможные неточности расчётов, они являются необходимыми для разработки усовершенствованного ядерного топлива для ЯЭУ.	Результаты анализа интерактивной матрицы проекта полей «Слабые стороны и угрозы»: 1. Наиболее уязвимые места – высокие требования к знаниям инженера для расчётов, уменьшение погрешности расчётов зависит от баз данных, заполнение которых не зависит от инженера.

Таким образом, выполнив SWOT-анализ можно сделать вывод, что на данный момент преимущества методики расчета нейтронно-физических характеристик топлива значительно преобладают над её недостатками. Все имеющиеся несовершенства можно легко устранить, воспользовавшись перечисленными выше возможностями.

3.2 Планирование управления научно-техническим проектом

3.2.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР), представленная на рисунке 32, представляет детализацию укрупненной структуры работ. В процессе создания ИСР структурируется и определяется содержание всего проекта.

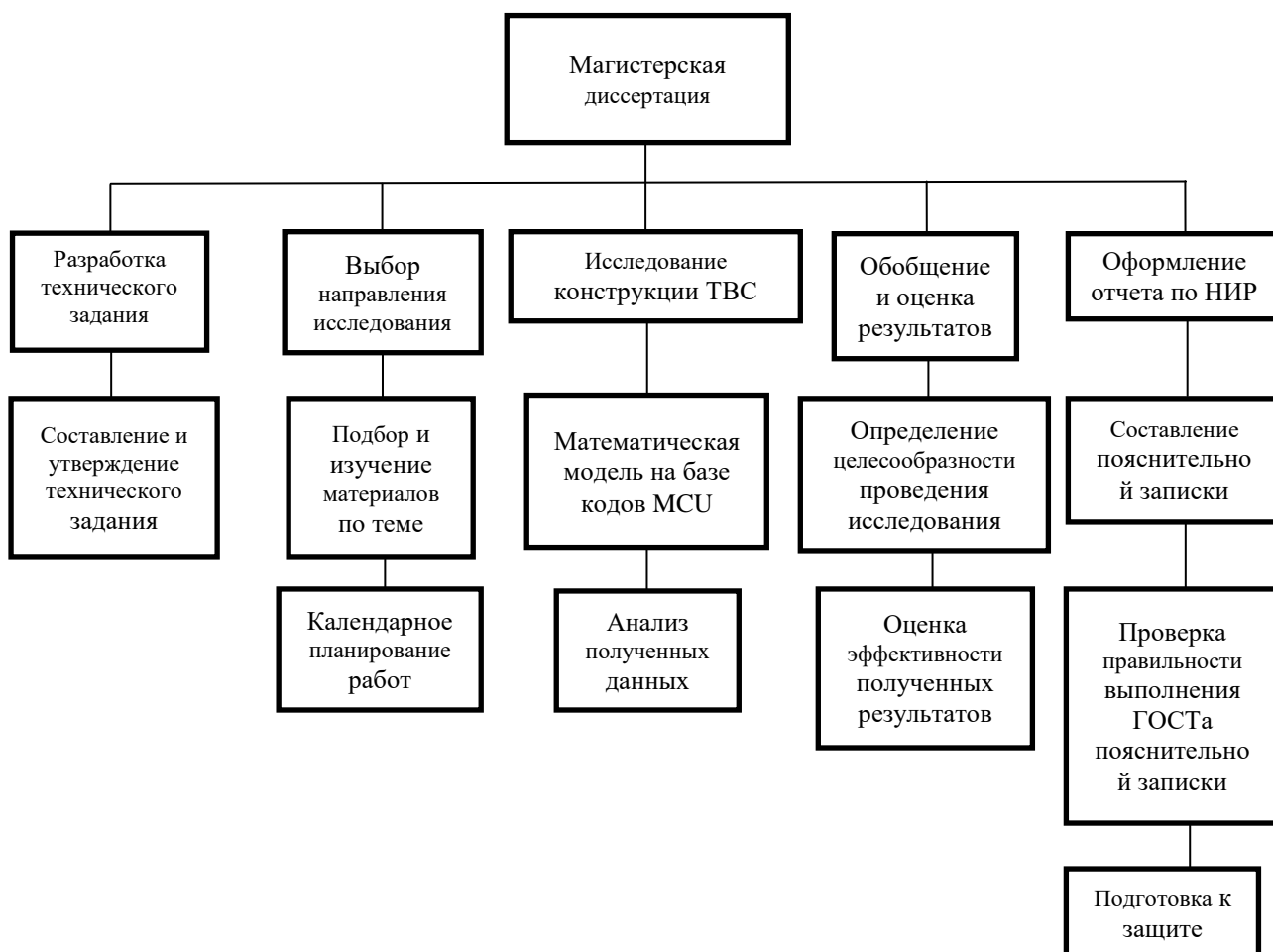


Рисунок 32– Иерархическая структура работ

3.2.2 Контрольные события проекта

Ключевые события исследовательского проекта, их даты и результаты приведены в таблице 5.

Таблица 5– Контрольные события проекта

№	Контрольное событие	Дата	Результат (подтверждающий документ)
1	Разработка технического задания на НИР	2.02.2017	Приказ по ФТИ
2	Составление и утверждение технического задания	3.02.2017	Задание на выполнение исследования
3	Выбор направления исследований	4.02.2017	
4	Подбор и изучение материалов по теме	7.02.2017	Отчёт
5	Календарное планирование работ	12.02.2017	План работ
6	Сбор материала по теме диссертации	13.02.2017	Отчёт
7	Разработка расчетной модели в программе MSU	14.02.2017	Отчёт
8	Проведение расчетов	15.02.2017- 30.03.2017	Отчёт
9	Анализ полученных данных	28.03.2017	Отчёт
10	Обобщение и оценка результатов	30.03.2017	Отчёт
11	Составление пояснительной записки	14.02.2017- 25.04.2017	Пояснительная записка
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	26.04.2017	
13	Подготовка к защите	01.06.2017- 12.06.2017	

3.2.3 План проекта

В рамках планирования исследовательского проекта построен календарный план-график с помощью диаграммы Ганта. В данном случае

работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения работ.

Линейный график представлен в таблице 6.

Таблица 6– Календарный план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Разработка технического задания	1	2.02.2017	3.02.2017	Руководитель
2	Составление и утверждение технического задания	1	3.02.2017	4.02.2017	Руководитель
3	Выбор направления исследований	3	4.02.2017	7.02.2017	Руководитель, студент
4	Изучение материалов по теме	2	7.02.2017	9.02.2017	Студент
5	Календарное планирование работ	1	12.02.2017	13.02.2017	Руководитель, студент
6	Обзор научной литературы, а также статей по теме диссертации	1	13.02.2017	14.02.2017	Студент
7	Разработка расчетной модели в программе MSU	1	14.02.2017	14.02.2017	Студент
8	Проведение расчетов	45	15.02.2017	30.03.2017	Студент
9	Анализ полученных данных	2	28.03.2017	30.03.2017	Студент
10	Обобщение и оценка результатов	1	30.03.2017	30.03.2017	Руководитель, студент

Продолжение таблицы 6– Календарный план проекта

11	Составление пояснительной записки	72	14.02.2017	25.04.2017	Студент
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	1	26.04.2017	27.04.2017	Руководитель, студент
13	Подготовка к защите	12	01.06.2017	12.06.2017	Студент

В таблице 7 представлен календарный план-график проведения научного исследования.

Таблица 7– Календарный план-график проведения научного исследования

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ														
				Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
1	Разработка технического задания	Руководитель	1	█														
2	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	█														
3	Выбор направления исследований	Руководитель, студент	3	█	█													
4	Изучение материалов по теме	Студент	2		█													
5	Календарное планирование работ	Руководитель, студент	1	█														
6	Обзор научной литературы, а также статей по теме диссертации	Студент	1		█													

Продолжение таблицы 7– Календарный план проекта

№ работ	Вид работ	Исполнители	Т _к , кал.дн.	Продолжительность выполнения работ														
				Февраль			Март			Апрель			Май			Июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	
7	Разработка расчетной модели в программе MSU	Студент	1		■													
8	Проведение расчетов	Студент	45		■	■	■	■	■									
9	Анализ полученных данных	Студент	2						■									
10	Обобщение и оценка результатов	Руководитель, студент	1						▨									
11	Составление пояснительной записки	Студент	72		■	■	■	■	■	■	■	■	■					
12	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	Руководитель, студент	1														▨	
13	Подготовка к защите	Студент	12															■

▨ – Руководитель ■ – Студент

3.3 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;

- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- затраты научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

3.3.1 Расчёт материальных затрат

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расxi}, \quad (2)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расxi}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, принимаются в пределах 15-25 % от стоимости материалов.

Основными затратами в данной исследовательской работе являются затраты на приобретение канцелярских товаров, оплаты доступа в интернет, электроэнергия. Расчёт электроэнергии проведен по формуле:

$$C = C_{эл} \cdot P \cdot F_{об} = 5,8 \cdot 0,5 \cdot 960 = 2784 \quad (3)$$

где $C_{эл}$ – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

$F_{об}$ – время использования оборудования, ч.

Затраты на электроэнергию составили 2784 рубля.

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования, необходимого для проведения работ по конкретной теме.

В данной исследовательской работе к спецоборудованию, необходимому для проведения экспериментальных работ, относится компьютер, стоимость которого составляет 100000 рублей, назначенный срок службы – 5 лет.

Затраты на амортизацию оборудования рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{аморт}} = C_{\text{об}} / T, \quad (4)$$

где $C_{\text{об}}$ – стоимость оборудования (руб);

T – срок службы (дней).

$$C_{\text{аморт}} = (100000 / 1825) = 54,79 \text{руб/дн.}$$

Оборудование использовалось в течение 117 дней, таким образом, затраты на оборудование:

$$C_{\text{аморт(общ)}} = 54,79 \cdot 117 = 6410,43 \text{руб.}$$

Результаты расчётов по затратам на материалы приведены в таблице 8.

Таблица 8 – Материальные затраты

Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Бумага	Ballet	500	0,30	150
Печать на листе А4	–	250	3	750
Ручка	BIC	1	10	10
Доступ в интернет	–	3 месяца	300	900
Всего за материалы				1810
Транспортно-заготовительные расходы				0
Затраты на амортизацию оборудования				6410,43
Электроэнергия				2784
Итого по статье C_M				11004,43

3.3.3 Основная заработная плата исполнителей темы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты).

Основная заработная плата руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (4.10)$$

где $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.;

$T_{раб}$ – продолжительность выполняемых работ, раб. дн.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле (4.11):

$$Z_{дн} = (Z_{м} \cdot M) / T_{д}, \quad (4.11)$$

где $Z_{м}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

а) при отпуске в 24 раб. дн. $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

б) при отпуске в 48 раб. дн. $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя.

$T_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 9).

Таблица 9 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные и праздничные)	68	68
Действительный годовой фонд рабочего времени	297	297

Студент во время обучения ежемесячно получает стипендию в размере 1750 руб. (без учёта РК).

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

- оклад – определяется предприятием, в ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, старший преподаватель, доцент, профессор;
- стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.;
- иные выплаты – районный коэффициент.

Для расчёта месячного должностного оклада работника применяется формула (4.12):

$$Z_m = Z_{ок} \cdot k_p, \quad (4.12)$$

где $Z_{ок}$ – заработная плата по окладу, руб.;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Руководителем данной научно-исследовательской работы является сотрудник в должности доцента (0,4 ставка) с окладом 11900 руб. (без учёта РК). Расчёт основной заработной платы приведён в таблице 10.

Таблица 10 – Расчёт основной заработной платы

Исполнители	$Z_{ок}$, руб.	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	Z_q , руб.	$T_{раб}$	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	11900	1,30	15470	774	97	35 ч.	3395
Студент	1750	1,30	2275	–	–	4 м.	9100
Итого $Z_{осн}$:							12495

3.3.4 Отчисления во внебюджетные фонды

Размер отчислений во внебюджетные фонды составляет 30 % от суммы затрат на оплату труда работников, непосредственно занятых выполнением исследовательской работы.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (9)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Величина отчислений во внебюджетные фонды составляет:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot 3395 = 1019 \text{ руб.}$$

3.3.5 Накладные расходы

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot Z_{\text{осн}}, \quad (10)$$

где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

Накладные расходы в ТПУ составляют 12-16 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы. Примем $k_{\text{накл}} = 16 \%$.

Накладные расходы составляют:

$$C_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (12495 + 1019) = 2162 \text{ руб.}$$

3.3.6 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, которая является нижним пределом затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Расчёт бюджета затрат исследовательского проекта

Наименование статьи	Сумма, руб
1. Материальные затраты исследования	4594
2. Затраты на специальное оборудование	6410
3. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	12495
5. Отчисления во внебюджетные фонды	3749
6. Накладные расходы	2162
Бюджет затрат исследования	26710

3.4 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта представляет собой временное структурное образование, создаваемое для достижения поставленных целей и задач проекта и включающее в себя всех участников процесса выполнения работ на каждом этапе.

Данной исследовательской работе соответствует функциональная структура организации. То есть организация рабочего процесса выстроена иерархически: у каждого участника проекта есть непосредственный руководитель, сотрудники разделены по областям специализации, каждой группой руководит компетентный специалист (функциональный руководитель). Организационная структура научного проекта представлена на рисунке 33.



Рисунок 33 – Организационная структура научного проекта

3.5 Матрица ответственности

Степень ответственности каждого члена команды за принятые полномочия регламентируется матрицей ответственности. Матрица ответственности данного проекта представлена в таблице 13.

Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

- ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход;
- исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта. Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение);
- согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

Таблица 13– Матрица ответственности

Этапы проекта	Научный руководитель	Консультант раздела «Финансовый менеджмент»	Консультант раздела «Соответственность»	Консультант по языковому разделу	Студент
Разработка технического задания	О				
Составление и утверждение технического задания	О				
Выбор направления исследований	О				И
Подбор и изучение материалов по теме	С				И
Календарное планирование работ	О				И
Обзор научной литературы, а также статей по теме диссертации					И
Влияние гидравлических характеристик на энерговыделение					И
Расчетная математическая модель на базе кодов MSU	О				И
Анализ полученных данных	О				И
Выполнение оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения		С			И
Выполнение раздела по социальной ответственности			С		И
Выполнение перевода части работы на английский язык				С	И
Обобщение и оценка результатов	С				И
Составление пояснительной записки	С				И
Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	С				И
Подготовка к защите	О				И

3.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования (см. табл. 3.6). Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (11)$$

где $I_{финр}^{исп.i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}} = \frac{26710}{26710} = 1;$$

Для аналогов (с использованием ПО, которое стоит 150000 руб и 200000 руб) соответственно:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{27511}{26710} = 1,03; \quad I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{25909}{26710} = 0,97$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (12)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 14.

Таблица 14 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Способствует росту производительности труда пользователя	0,4	5	3	2
2. Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	5	2	2
3. Помехоустойчивость	0,1	5	4	4
4. Надёжность	0,25	5	4	4
5. Материалоёмкость	0,15	5	3	4
ИТОГО	1	5	3,1	2,9

$$I_{\text{тп}} = 5 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 = 5;$$

$$\text{Аналог 1} = 3 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,15 = 3,45;$$

$$\text{Аналог 2} = 2 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 3,2.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{\text{финр}}^p$) и аналога ($I_{\text{финаi}}^{ai}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{финр}}^p}; I_{\text{финаi}}^{ai} = \frac{I_m^{ai}}{I_{\text{финаi}}^{ai}}; \quad (13,14)$$

В результате:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{финр}}^p} = \frac{5}{1} = 5; I_{\text{фина1}}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\text{фина1}}^{a1}} = \frac{3,45}{1,03} = 3,35; I_{\text{фина2}}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{\text{фина2}}^{a2}} = \frac{3,2}{1,06} = 3,02.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финаi}}^{ai}} \quad (15)$$

Результат вычисления сравнительной эффективности проекта и сравнительная эффективность анализа представлены в таблице 15.

Таблица 15– Сравнительная эффективность разработки

№	Показатели	Аналог 1	Аналог 2	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель разработки	1,03	0,97	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,45	3,2	5
3	Интегральный показатель эффективности	3,35	3,02	5
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,49	1,52	1

Таким образом, основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогами.

Заключение

В настоящей работе выполнены все поставленные задачи.

Построена расчетная модель ТВС-2М реакторной установки ВВЭР-1000. Построены зависимости влияния состава топливной композиции и диаметра твэл на нейтронно-физические характеристики ЯЭУ.

В работе получена оценка влияния различных топливных композиций уранового, уран-ториевого и плутоний-ториевого циклов и содержания делящегося изотопа на длину кампании, глубину выгорания и начальный запас реактивности ядерного топлива реакторной установки ВВЭР-1000.

Показано, что при стандартном диаметре твэл (0,91 см) наибольшая длительность кампании и глубина выгорания у карбидной смеси урана с торием. При сравнении со стандартной топливной композицией из двуокиси урана видно, что при 5% содержании делящихся нуклидов в топливе длительность кампании увеличивается на 41,3% (с 1090 до 1540 суток), глубина выгорания увеличивается на 37,7% (с 37 до 51 ГВт·сут/т), при этом начальный запас реактивности снижается на 12,4% (с 29,1 до 25,5 %). При 10% содержании делящихся нуклидов в топливе длительность кампании увеличивается на 47,3% (с 2030 до 2990 суток), глубина выгорания увеличивается на 41,5 % (с 69 до 98 ГВт·сут/т), при этом начальный запас реактивности снижается на 6,5 % (с 33,2 до 31,1 %). При 19,9% содержании делящихся нуклидов в топливе длительность кампании увеличивается на 45,9 % (с 3700 до 5400 суток), глубина выгорания увеличивается на 36 % (с 125 до 171 ГВт·сут/т), при этом начальный запас реактивности снижается на 4,1% (с 36,1 до 34,7 %).

Проведенная работа по оптимизации диаметра твэл показала, что наибольшую длительность кампании и глубину выгорания показывают карбидные топливные композиции. При сравнении со стандартной топливной композицией из двуокиси урана видно, что при 5% содержании делящихся

нуклидов в топливе наибольший прирост в длительности кампании и глубине выгорания показывает топливная композиция со смесью урана и тория. При диаметре ТВЭЛ в 1,02 см длительность кампании увеличивается на 67,9% (с 1090 до 1830 суток), глубина выгорания увеличивается на 24,1% (с 37 до 46 ГВт·сут/т), при этом начальный запас реактивности снижается на 26,1% (с 29,1 до 21,5 %). При 10% содержании делящихся нуклидов в топливе наибольший прирост в длительности кампании и глубине выгорания также показывает топливная композиция со смесью оружейного плутония и тория. При диаметре ТВЭЛ в 1,15 см длительность кампании увеличивается на 133,5% (с 2030 до 4740 суток), глубина выгорания увеличивается на 30,3% (с 69 до 90 ГВт·сут/т), при этом начальный запас реактивности снижается на 34,1% (с 33,2 до 21,9 %). При 19,9% содержании делящихся нуклидов в топливе наибольший прирост в длительности кампании и глубине выгорания показывает топливная композиция со смесью энергетического плутония и тория. При диаметре ТВЭЛ в 1,15 см длительность кампании увеличивается на 203 % (с 3700 до 11210 суток), глубина выгорания увеличивается на 60 % (с 125 до 201 ГВт·сут/т), при этом начальный запас реактивности увеличился на 2,1% (с 36,1 до 36,9 %).

В ходе выполнения исследовательского проекта были соблюдены все требования безопасности. Рабочее место было хорошо освещено. При использовании ПЭВМ были соблюдены требования по электро- и пожаробезопасности. В результате выполнения работы травм получено не было.

Проведён экономический анализ исследования. Бюджет затрат исследования составил 26710 рублей.

Список публикаций

1. Мотрий И.А., Чертков Ю.Б., Федоров Н.М. Нейтронно-физические характеристики торийсодержащих ТВС-2М // VIII Школа-конференция молодых атомщиков Сибири: сборник тезисов докладов, г. Томск, 17-19 мая 2017 г. – Томск: СТИ НИЯУ МИФИ, 2017 – С. 147.

2. Мотрий И.А., Овечкин Е.В., Селиваникова О.В. Модернизация материального состава ТВС ЯЭУ // Физико-технические проблемы в науке, промышленности и медицине: сборник научных трудов VIII Международной научно-практической конференции, г. Томск, 1-3 июня 2016 г. – Томск: НИ ТПУ, 2016 – С. 199.